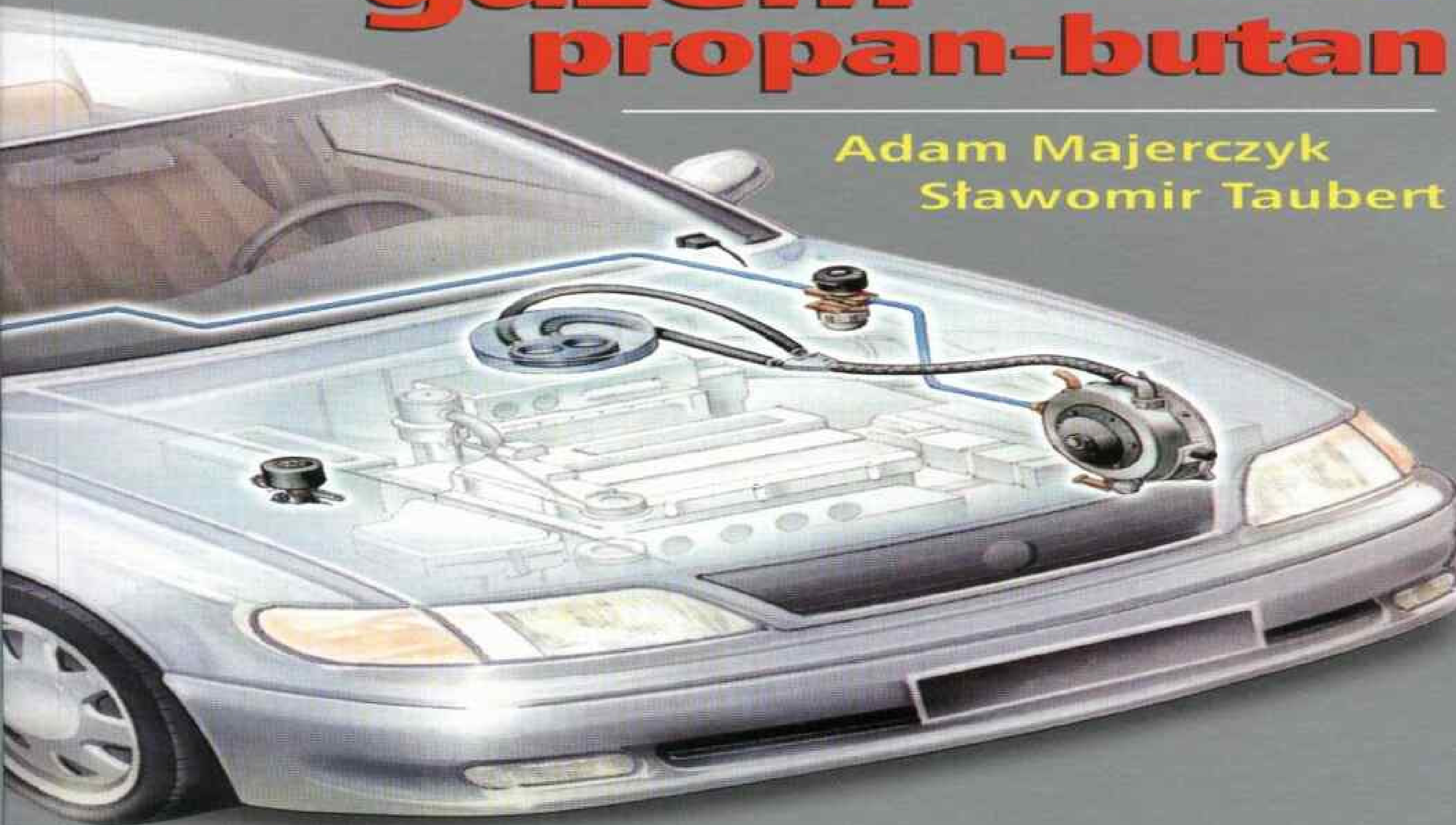
Układy zasilania gazem propan-butan

WKŁ

Adam Majerczyk
Sławomir Taubert



Niska cena paliwa LPG (płynnej mieszaniny gazów propan-butan) skłoniła Cię do zamontowania w samochodzie układu zasilania gazem bądź też inwestycję taką planujesz w najbliższym czasie. Zasłyszane opinie sprawiają jednak, że masz pewne wątpliwości i nurtują Cię pytania, na które nie potrafisz znaleźć odpowiedzi.



- Z czego się składa i jak działa układ zasilania LPG?
- Jaki typ układu zasilania gazem wybrać?
- Czy montażu dokonano we właściwy sposób?
- Jak i kiedy przełączać rodzaj zasilania?
- Jaki wpływ ma zasilanie gazem na osiągi samochodu?
- Czy użytkowanie samochodu zasilanego gazem jest bezpieczne?
- Czy zbiornik paliwa LPG jest „bombą"?
- Czy paliwo gazowe szkodzi silnikowi?
- Jakie są korzyści ze stosowania paliwa LPG?

Na te i wiele innych pytań znajdziesz odpowiedź w niniejszej książce.

ISBN 83-206-1490-2

Wydawnictwa Komunikacji i Łączności
www.wkl.com.pl

Opiniodawca: *prof. dr inż. Maciej Bernhardt*
Projekt okładki: *Dariusz Litwiniec*
Redaktor: *Zbigniew Otoczyński*
Redaktor techniczny: *Alicja Pietrzak*
Korekta: *Zespół*

629.06:662.767

Książka stanowi kompendium praktycznej wiedzy o zasilaniu silników spalinowych mieszaniną gazów płynnych propan-butan. Przedstawiono kolejne generacje stosowanych układów zasilania paliwem LPG, na przykładach konkretnych instalacji dostępnych na rynku.
Opisano kryteria doboru, zasady montażu, eksploatacji i bezpieczeństwa użytkowania tych układów zasilania oraz przytoczono obowiązujące przepisy i wymagania dotyczące układów zasilania gazem płynnym.
Odbiorcy: pracownicy warsztatów montujących w samochodach układy zasilania gazem, użytkownicy tych samochodów oraz wszyscy zainteresowani zamontowaniem takiego układu zasilania w swoim samochodzie.

ISBN 83-206-1490-2

Wydawnictwa Komunikacji i Łączności sp. z o.o.
ul. Kazimierzowska 52, 02-546 Warszawa
tel. (0-22) 849-27-51; fax (0-22) 849-23-22
Dział Handlowy tel./fax (0-22) 849-23-45
tel. (0-22) 849-27-51 w. 555
Prowadzimy sprzedaż wysyłkową książek
Księgarnia firmowa w siedzibie wydawnictwa
tel. (0-22) 849-20-32, czynna pon.–pt. w godz. 10.00–18.00
e-mail wkl@wkl.com.pl
Pełna oferta WKŁ w INTERNECIE http://www.wkl.com.pl

Wydanie 1. Warszawa 2003

Cieszyńska Drukarnia Wydawnicza
ul. Pokoju 1, 43-400 Cieszyn

Spis treści

Od autorów

Niniejsza książka jest poświęcona układom umożliwiającym zasilanie silników paliwem alternatywnym, jakim jest mieszanina propanu i butanu, oznaczana skrótem LPG. Paliwo to jest używane do zasilania różnych silników spalinowych, począwszy od małych silników o zapłonie iskrowym stosowanych do napędu motorowerów i łodzi, a skończywszy na silnikach o zapłonie samoczynnym używanych w autobusach i ciężkich samochodach ciężarowych. W Polsce największą grupę silników zasilanych paliwem LPG stanowią silniki o zapłonie iskrowym, stosowane w samochodach osobowych i dostawczych.

Samochody, w których montowane są układy zasilania LPG, prezentują rozwiązania konstrukcyjne z ostatnich 20 lat. Najstarsze roczniki samochodów są wyposażone w silniki gaźnikowe, natomiast samochody najnowsze – w elektronicznie sterowane układy wtryskowe współpracujące z sondą lambda oraz reaktorem katalitycznym (potocznie nazywanym katalizatorem). Wraz z rozwojem konstrukcji układów zasilania benzyną zmieniały się układy służące zasilaniu silników mieszaniną propanu i butanu, zatem pojęcie „układ zasilania LPG" obejmuje urządzenia o różnej konstrukcji i możliwościach. Istotnym zagadnieniem jest dobór rodzaju układu zasilania LPG do danego typu samochodu oraz sposób montażu i regulacji, od których zależy bezpieczeństwo użytkowania samochodu, jak również prawidłowa praca jego silnika.

Instytut Transportu Samochodowego w Warszawie, w którym pracujemy, zajmuje się od kilkudziesięciu lat problematyką rozwoju motoryzacji, w tym również zagrożeń dla środowiska, związaną z eksploatacją samochodów. Badania różnych układów zasilania LPG, ich diagnozowanie, usuwanie usterek, oceny poprawności zabudowy układów jak również pomiary emisji gazów z układu wylotowego silnika, pozwoliły poznać właściwości tych układów. Brak ogólnie dostępnej literatury dotyczącej układów zasilania LPG przy dużym na nią zapotrzebowaniu, skłonił nas do opracowania niniejszej książki.

Naszą intencją było przedstawienie w sposób możliwie wyczerpujący występujących możliwości zastosowania układów zasilania LPG oraz upowszechnienie informacji umożliwiających weryfikację sposobu montażu tych układów przez właścicieli samochodów. Książka jest napisana z myślą o osobach zainteresowanych zasilaniem silników paliwem LPG, obecnych lub przyszłych użytkownikach układów zasilania LPG, jak również osobach zajmujących się zawodowo tymi układami. Mamy nadzieję, że zawarta w tej książce wiedza na temat zasad działania poszczególnych generacji układów zasilania LPG, pozwoli na właściwy ich dobór do samochodu oraz bezpieczną eksploatację.

Zamieszczony materiał fotograficzny przedstawia zarówno prawidłowo zamontowane układy, jak też przykłady błędów montażowych, przykłady rozwiązań niedozwolonych, a pomimo tego stosowanych.

W **rozdziale 1** opisana została krótko historia rozwoju układów zasilania paliwem LPG.

Rozdział 2 przedstawia główne właściwości paliwa LPG, pomocne w zrozumieniu zasady działania układów zasilania, oraz przepisy dotyczące jakości LPG używanego jako paliwa do napędu silników spalinowych.

Rozdział 3 przedstawia układy mieszalnikowe (I i II generacji), które obecnie są najpowszechniej stosowane. Z uwagi na różnorodność rozwiązań tych układów oraz możliwość ich zestawiania z części różnego pochodzenia („uniwersalność" poszczególnych elementów), przedstawiono zasadę działania, która jest jednakowa dla wszystkich układów mieszalnikowych, oraz opis typowych części składowych układu.

W **rozdziale 4** opisano wtryskowe układy zasilania LPG: bardziej zaawansowane technicznie rozwiązania układów III generacji, o znacznie lepszych możliwościach sterowania składem mieszanki niż układy mieszalnikowe, oraz układy IV generacji umożliwiające zastąpienie benzyny paliwem LPG z zachowaniem wszystkich funkcji nowoczesnego samochodu, w tym funkcji autodiagnostyki silnika OBD.

Układ zasilania LPG można umownie podzielić na dwie części: pierwszą, odpowiadającą za przygotowanie mieszanki palnej oraz drugą – odpowiedzialną za magazynowanie paliwa. W **rozdziale 5** opisano elementy, które zaliczane są do tej drugiej grupy, tzn. zbiorniki paliwa umożliwiające magazynowanie paliwa pod ciśnieniem oraz ich armaturę, jak również wlewy paliwa.

W **rozdziale 6** zebrane zostały uwagi eksploatacyjne, przydatne dla użytkownika samochodu z układem zasilania LPG. Poruszone zostały również takie kwestie, jak bezpieczeństwo użytkowania, potencjalne zagrożenia dla silnika oraz jak przed nimi się bronić.

Na końcu książki znajdują się dwa dodatki. Montaż układów zasilania LPG podlega przepisom dotyczącym w większości bezpieczeństwa ich użytkowania. Odniesienia do wymagań tych przepisów znajdują się w każdym z rozdziałów, natomiast syntetyczny ich skrót, który może być przydatny użytkownikowi samochodu zasilanego LPG, jest zawarty w **dodatku A**. W **dodatku B** zebraliśmy słownictwo często używane przez osoby związane z branżą układów LPG, które dla osoby nie zaznajomionej z tą problematyką może sprawiać kłopoty. Powstał minisłowniczek, który – mamy nadzieję – będzie dla Czytelnika przydatny.

Winni jesteśmy podziękowania wielu osobom, bez pomocy których książka ta nie mogłaby powstać. Przygotowując materiały do niniejszej książki spotkaliśmy się z przychylnym zainteresowaniem osób zajmujących się zawodowo instalacjami LPG. Dzięki Ich zaangażowaniu mogliśmy zebrać bogaty materiał ilustracyjny i fotograficzny oraz wzbogacić treść książki o praktyczne uwagi eksploatacyjne. Pragniemy w tym miejscu wyrazić podziękowanie za pomoc firmom:

- AGS-POLSKA s.c.
- Przedsiębiorstwo Produkcyjno-Handlowe „BREW-EL"
- Firma Handlowo-Usługowa CZAKRAM
- D.T. GAS SYSTEM
- LANDI RENZO POLSKA Sp. z o.o.
- LTA POLONIA Import-Export Monika Wojtala
- PROTON Sp. z o.o.
- POLGAS
- SECURITY CAR SYSTEM
- STAKO s.c.

Pragniemy również podziękować Dyrekcji Insytutu Transportu Samochodowego za wyrażenie zgody na wykorzystanie niepublikowanych wyników otrzymanych w laboratoriach ITS. Dziękujemy naszym kolegom, pracownikom naukowym ITS, za znalezienie czasu na zapoznanie się z przygotowywanym materiałem i podzielenie się z nami krytycznymi uwagami na jego temat.

Dołożyliśmy wszelkich starań aby weryfikować publikowane dane, lecz nie wątpimy, że dociekliwi Czytelnicy wykryją nieścisłości w naszej pracy i podzielą się z nami swą opinią. Będziemy zobowiązani za wszelkie sugestie dotyczące tej książki, również za wskazanie innych, interesujące tematów, które być może zostały przez nas przeoczone.

Autorzy

Adam Majerczyk
e-mail: adammajerczyk@wp.pl

Sławomir Taubert
e-mail: staubert@wp.pl

ROZDZIAŁ 1

Wiadomości wstępne

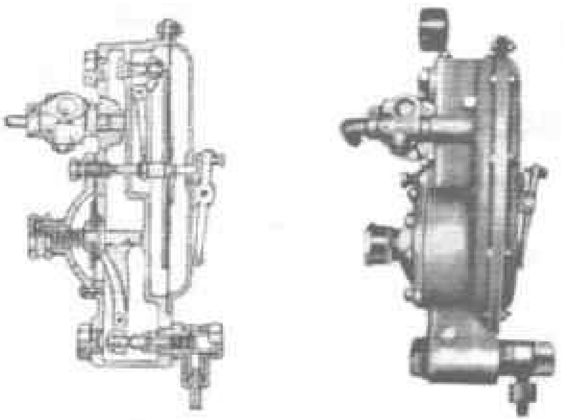
Instalacje przystosowujące silniki spalinowe do zasilania paliwami innymi niż benzyna silnikowa są znane od dawna. W silnikach spalinowych próbowano już spalić wszystko, co daje się spalić: benzynę, metan, LPG[1], alkohole, olej rzepakowy i jego estry, oleje tłoczone z innych roślin, na przykład olej palmowy, a także naftę, wodór i wiele innych.

Wybór paliwa wynika przede wszystkim z rachunku ekonomicznego oraz wymagań silników, w których ma być ono zastosowane. Stosowanie niektórych z wymienionych paliw było spowodowane warunkami wywołanymi przez toczące się wojny. LPG jest jednym z paliw węglowodorowych, które ma ponad półwiekową historię w zasilaniu silników spalinowych.

Pierwsze układy zasilania gazem powstały we Włoszech, w związku z niedoborem paliw silnikowych po wybuchu II wojny światowej. Wynalazcy opracowali najpierw instalacje dostosowujące silniki spalinowe do zasilania metanem, a następnie zastosowali tę samą koncepcję reduktora i te same zależności ciśnienia od prędkości przepływu w układzie dolotowym silnika spalinowego (do sterowania wydatkiem paliwa), do instalacji LPG. Układy zasilania LPG i metanem rozwijają się równolegle od początku powstania, korzystając z tych samych koncepcji sterowania składem mieszanki, a niekiedy nawet wykorzystując te same elementy składowe. Firmy włoskie o wieloletniej tradycji, jak Landi, czy Tartarini produkują do dziś urządzenia do zasilania silników LPG i metanem. W tych dwóch firmach zdobywali wiedzę założyciele następnych firm, które powstawały we Włoszech, a następnie w Holandii.

Przedstawione na rys. 1.1. rozwiązanie konstrukcyjne reduktora stosowanego w układach mieszalnikowych okazało się zadziwiająco skuteczne, o czym świadczy fakt, że dziś, po przeszło 60 latach od wprowadzenia do produkcji, jest ono nadal stosowane w większości układów zasilania LPG używanych w Polsce.

[1] LPG (z ang. Liquified Petroleum Gas) – skroplony gaz ropopochodny.



Rys. 1.1. Pierwszy reduktor firmy Landi stosowany do metanu [1]

W Polsce informacje na temat możliwości zasilania silników samochodowych paliwem LPG nie były spopularyzowane do lat dziewięćdziesiątych XX wieku. Pierwsze doświadczenia autorów z dostosowaniem silników o zapłonie iskrowym do zasilania LPG sięgają czasów, gdy benzyna była na kartki, a jej miesięczny przydział starczał na przejechanie ok. 300 km. W owych czasach instalacje LPG trafiały do Polski w ramach prywatnego importu w ilościach śladowych. Brak było jakiejkolwiek wiedzy na temat montażu i eksploatacji instalacji LPG, a tym bardziej wpływu zmiany paliwa na silniki pojazdów.

Instalacje były stosunkowo drogie jak na tamte czasy – od 100 do 200 USD, przy średnich zarobkach wynoszących ok. 20 USD. Brak było stacji napełniających zbiorniki samochodów gazem płynnym, co wymuszało stosowanie „metod obejściowych". Możliwe było jedynie kupowanie gazu w butlach przeznaczonych do celów turystycznych oraz oświetlenia i ogrzewania, a i to jedynie poza sezonem urlopowym, z powodu zapomnianych już kolejek.

Stosowano różne metody przetaczania LPG do zbiornika samochodowego. Metoda „zimowa" polegała na ogrzaniu butli z LPG. Butle należało wnieść do mieszkania, włożyć do wanny i napuścić ciepłej wody. Czas potrzebny do wypicia szklanki gorącej herbaty wystarczał, żeby butle z zawartością nagrzały się wystarczająco do przeprowadzenia następnej operacji. Należało znieść je do samochodu, obrócić zaworem do dołu i podłączyć do zbiornika paliwa gazowego. LPG przepływało pod wpływem różnicy ciśnień. Metoda „letnia" wykorzystywała zjawisko pochłaniania ciepła przy zmianie stanu skupienia z ciekłego na gazowy. Sposób ten nie nadawał się do zastosowania w sąsiedztwie ludzi, ponieważ polegał na schłodzeniu zbiornika LPG przez wypuszczenie części paliwa do atmosfery. Po obniżeniu ciśnienia można było podłączyć butlę z gazem przeznaczonym do przetoczenia. Inną stosowaną metodą było użycie butli z LPG zamiast zbiornika paliwa gazowego.

Koszty eksploatacji samochodu zasilanego LPG były wielokrotnie niższe od eksploatacji na benzynie. Możliwość nieograniczonego dostępu do taniego paliwa w czasach reglamentacji benzyny była czymś wyjątkowym.

Spopularyzowanie użycia instalacji LPG jako paliwa silnikowego nastąpiło na początku lat dziewięćdziesiątych. Sprzyjały temu utrzymujące się do dziś niskie ceny LPG oraz zmiana kursów walut, pozwalająca obniżyć koszty importu instalacji, a co za tym idzie ich cen w stosunku do zarobków w Polsce.

Zmniejszenie kosztów zakupu paliwa o 50 do 60% w porównaniu z kosztami benzyny zapewniło ekonomiczne podstawy rozwoju rynku instalacji oraz całej infrastruktury związanej z eksploatacją samochodów zasilanych LPG.

Duża różnica w kosztach eksploatacji na korzyść LPG spowodowała wzrost zainteresowania tym paliwem i dużą dynamikę przyrostu liczby samochodów wyposażonych w instalację zasilania LPG. Szacuje się, że wciągu ostatnich 3 lat liczba samochodów dostosowanych do zasilania paliwem LPG wzrosła o 200%. Według danych szacunkowych, w 2001 r. zamontowano około 140 tys. instalacji (co jest wynikiem lepszym o 40 tys. w stosunku do najlepszego jak dotychczas pod względem liczby zamontowanych instalacji roku 1997). Na koniec 2002 r. liczba samochodów wyposażonych w tę instalację sięgnęła ok. 1 mln[2].

Wraz ze zwiększającą się liczbą samochodów przystosowanych do zasilania LPG (tzw. autogaz), wzrastało zużycie tego paliwa. Pod względem jego zużycia Polska w 2001 roku wysunęła się na drugie miejsce w Europie. Wyprzedzają ją tylko Włochy.

Popyt na instalacje LPG sprzyja rozwojowi montujących je zakładów. Dział gospodarki związany z zastosowaniem LPG jako paliwa samochodowego daje dziś utrzymanie dziesiątkom tysięcy ludzi.

Mieszalnikowy układ zasilania, opracowany w latach czterdziestych XX wieku, był i jest nadal wykorzystywany bez zmian zasady jego działania. Rozwój układów tego typu polegał jedynie na dodaniu możliwości sterowania składem mieszanki dzięki sygnałom sondy lambda. W chwili obecnej układy mieszalnikowe kończą swą karierę, w konfrontacji z coraz bardziej skomplikowanymi i pod względem technicznym samochodami. Zasada działania układów zasilania LPG wchodzących do eksploatacji od początku XXI wieku, bazuje na naśladowaniu zasady działania współczesnych układów zasilania benzyną. Są to układy wtryskowe LPG, wykorzystujące sygnały sterujące wtryskiem benzyny. Pod względem dokładności sterowania składem mieszanki oraz niezawodności, zbliżają się do współczesnych benzynowych układów zasilania.

---

[2] Dane szacunkowe.

ROZDZIAŁ 2

Paliwa gazowe

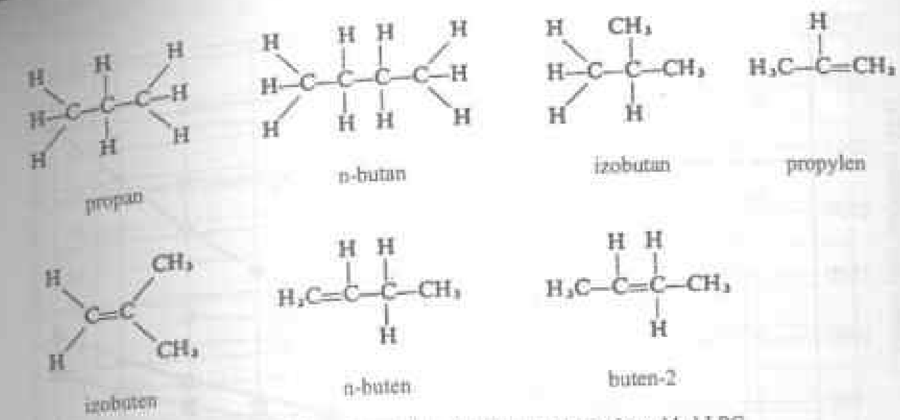
W rozdziale przedstawiono podstawowe właściwości fizykochemiczne gazu propan-butan, istotne dla eksploatacji silnika, takie jak:
- skład chemiczny,
- prężność par paliwa,
- ciepło właściwe,
- ciepło spalania i wartość opałowa,
- liczba oktanowa,
- stała stechiometryczna paliwa,
- prędkość spalania,
- granice zapalności,
- współczynnik rozszerzalności cieplnej fazy ciekłej,
- gęstość.

Poznanie wyżej wymienionych właściwości jest istotne dla lepszego zrozumienia takich zagadnień, jak bezpieczeństwo użytkowania i prawidłowa eksploatacja samochodu wyposażonego w układ zasilania gazem oraz wpływ zasilania gazem na parametry eksploatacyjne.

Skład chemiczny

Gaz ciekły propan-butan stanowi skroploną mieszaninę gazów. Jego głównymi składnikami są węglowodory: propan (C_3H_8) oraz n-butan i izobutan (o jednakowych wzorach C_4H_{10} lecz o innej budowie cząsteczki). Poza tym zawiera również w niewielkich ilościach inne węglowodory, takie jak etan, izomery butanu i inne wyższe węglowodory (tzn. o większej liczbie atomów w cząsteczce).

Propan i butan w stanie gazowym wydobywa się bezpośrednio z odwiertów ropy naftowej, jeśli wydobyciu ropy naftowej towarzyszy gaz. Otrzymuje się go również z części odwiertów gazu ziemnego. Propan i butan są także produktami ubocznymi w procesach produkcji benzyn, uwodornienia węgla (produkcja paliw płynnych z węgla kamiennego), krakowania, uwodornienia ropy naftowej. Otrzy-



Rys. 2.1. Budowa cząsteczek głównych węglowodorów wchodzących w skład LPG

mywany gaz skroplony zawiera znaczne ilości zanieczyszczeń, między innymi tlenosiarczek węgla, siarkowodór, dwutlenek węgla. Zanieczyszczenia te są usuwane przed przekazaniem gazu do dystrybucji.

LPG w temperaturach pokojowych i pod ciśnieniem atmosferycznym przyjmuje postać gazową. Jest to jednak gaz, który skrapla się w temperaturze pokojowej pod niewielkimi ciśnieniami rzędu kilku atmosfer. Stąd też jego oficjalna polska nazwa – skroplony gaz ropopochodny (Liquid Petroleum Gas).

Ciśnienie par nasyconych

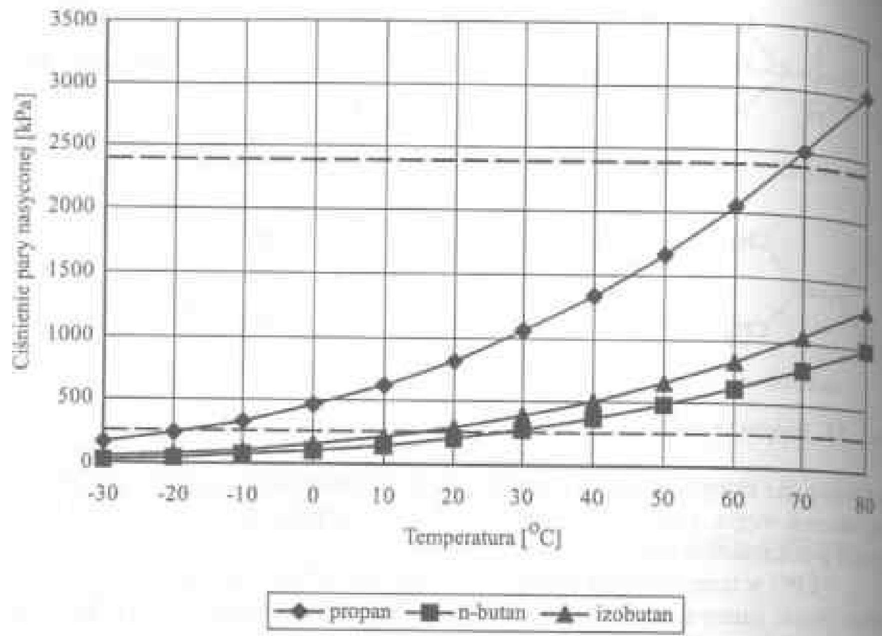
Jeżeli gaz propan-butan w postaci ciekłej znajdzie się w zamkniętej objętości, na przykład w zbiorniku paliwa gazowego, a temperatura pozwoli na jego odparowanie, to będzie parował i zwiększał ciśnienie w zbiorniku. Jeżeli temperatura w zbiorniku jest stała, to zostanie osiągnięty stan równowagi termodynamicznej. Oznacza to, że bez zmiany temperatury szybkość parowania cieczy jest równa szybkości skraplania jej pary. W tym przypadku w zbiorniku znajdują się obok siebie dwie fazy: ciekła i gazowa. Pary cieczy osiągają nasycenie, czyli największą gęstość i ciśnienie charakterystyczne dla określonej temperatury. Takie pary nazywamy parami nasyconymi, a ich ciśnienie – ciśnieniem pary nasyconej.

Ciśnienie pary nasyconej pozwala ocenić lotność związku: im większe ciśnienie pary nasyconej, tym łatwiej faza ciekła tego związku ulega odparowaniu. Ciśnienie pary nasyconej jest wielkością charakterystyczną dla związku chemicznego, a zależy od jego budowy chemicznej oraz temperatury. Wpływ temperatury na ciśnienie par nasyconych propanu, butanu oraz izobutanu przedstawiono na rys. 2.2.

Na rysunku tym widać, że ciśnienie paliwa gazowego w zbiorniku jest zależne od temperatury LPG w zbiorniku paliwa gazowego, która z kolei zależy od temperatury otoczenia, oraz od składu chemicznego paliwa.

Większość układów zasilania LPG nie ma pompy paliwa[1]. Wypływ LPG ze zbiornika paliwa jest wywoływany ciśnieniem par paliwa. Zatem niezbędne jest

[1] Z wyjątkiem instalacji wtrysku fazy ciekłej.



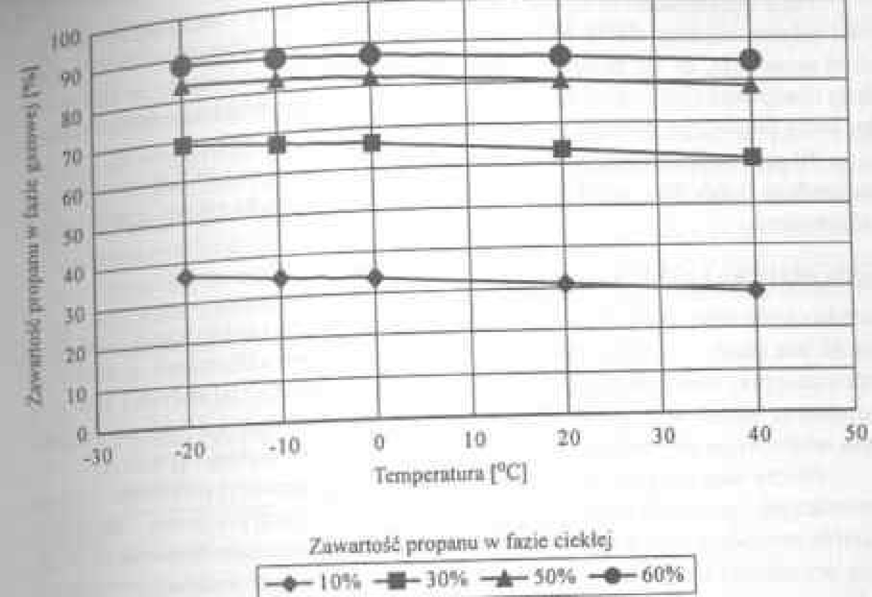
Rys. 2.2. Ciśnienie par nasyconych dla wybranych węglowodorów w funkcji temperatury [2]

zachowanie ciśnienia wewnątrz zbiornika w pożądanych granicach. Układy zasilania LPG są projektowane do pracy przy minimalnym ciśnieniu zasilania ok. 250 kPa (dolna linia przerywana na rys. 2.2). Im niższa jest temperatura LPG (warunki zimowe), tym większy musi być udział propanu dla zapewnienia odpowiedniego ciśnienia w zbiorniku. Duża zawartość propanu jest jednak niekorzystna w ekstremalnie wysokich temperaturach otoczenia, ponieważ zawory bezpieczeństwa są regulowane na ok. 2400 kPa (górna linia przerywana na rys. 2.2). Skład paliwa LPG musi być zatem dostosowany do przewidywanych temperatur otoczenia.

Paliwo LPG występuje w zbiorniku ciśnieniowym w postaci cieczy, nad którą znajduje się faza gazowa pod ciśnieniem par nasyconych. Różnice prężności par nasyconych głównych składników paliwa LPG powodują, że skład fazy gazowej znacznie odbiega od składu fazy ciekłej paliwa. Jeżeli zatankowano paliwo LPG o zawartości 60% propanu i 40% butanu, to w paliwie będącym w fazie gazowej udział propanu wynosi, w zależności od temperatury, od 85 do 90%.

Na rys. 2.3 przedstawiono udział procentowy zawartości propanu w fazie gazowej w zależności od temperatury oraz udziału procentowego propanu w fazie ciekłej.

Pobór ze zbiornika paliwa w fazie gazowej powoduje, że paliwo pobierane bezpośrednio po zatankowaniu jest bogate w propan. W trakcie ubywania paliwa następuje stopniowy spadek udziału propanu. Efektem jest zmiana składu frakcyjnego pobieranego paliwa w miarę jego zużywania oraz spadek ciśnienia w zbiorniku spowodowany zwiększaniem się udziału butanu w paliwie.



Rys. 2.3. Zawartość procentowa propanu w fazie gazowej w zależności od temperatury i procentowej zawartości propanu w fazie ciekłej

Pobór paliwa w fazie gazowej powoduje, że całe pobierane paliwo LPG przechodzi w stan gazowy w zbiorniku. Pochłanianie ciepła podczas parowania paliwa (patrz ciepło parowania) powoduje obniżanie temperatury zbiornika oraz samego paliwa.

Pobór paliwa w fazie gazowej może być stosowany, jeżeli temperatura otoczenia zbiornika oraz jego powierzchnia zapewniają niezbędną wymianę ciepła z otoczeniem do utrzymania minimalnej temperatury (a zatem i ciśnienia) podczas poboru paliwa oraz jeżeli duże zmiany składu frakcyjnego paliwa nie są istotne dla działania zasilanego urządzenia.

Stosowanie poboru paliwa w fazie ciekłej ogranicza zmiany składu frakcyjnego pobieranego paliwa w miarę opróżniania zbiornika, w porównaniu z poborem fazy gazowej.

W trakcie tankowania, pary propanu i butanu (z przeważającym udziałem propanu) znajdujące się w zbiorniku paliwa są sprężane i skraplają się, zwiększając udział propanu w fazie ciekłej przy napełnionym zbiorniku. Opróżnianie zbiornika powoduje zmniejszanie objętości fazy ciekłej LPG i zajmowanie zwolnionej objętości zbiornika przez paliwo w fazie gazowej, która powstaje z odparowania paliwa w fazie ciekłej.

Objętość jednostki masy fazy gazowej jest wielokrotnie większa od objętości fazy ciekłej, zatem masa paliwa przechodząca w stan gazowy w wyniku poboru paliwa w fazie ciekłej jest niewielka i nie wpływa znacząco na zmiany składu fazy ciekłej.

Poza ograniczeniem zmian składu paliwa, pobór fazy ciekłej ogranicza zjawisko odprowadzania ciepła podczas parowania paliwa w zbiorniku. Pobór fazy ciekłej powoduje, że dla przemiany fazowej paliwa, które wypłynęło ze zbiornika, należy dostarczyć ciepło poza zbiornikiem, natomiast odprowadzanie ciepła w zbiorniku przez parowanie dotyczy jedynie paliwa parującego w zbiorniku.

W przypadku zasilania silników spalinowych paliwem LPG, stosowany jest powszechnie pobór fazy ciekłej, ograniczający zmiany składu paliwa pobieranego ze zbiornika.

Ciepło właściwe i ciepło parowania

Wartość ciepła właściwego[2)] zależy od sposobu ogrzewania i ochładzania ciała. Inną wartość ma ciepło właściwe przy ogrzewaniu pod stałym ciśnieniem, a inne przy ogrzewaniu przy stałej objętości. Różnice te są pomijalne dla ciał stałych i ciekłych, natomiast są istotne w przypadku ciał w fazie gazowej. W tabeli 2.1 podano wartości ciepła właściwego dla wybranych węglowodorów w fazie ciekłej i gazowej.

Proces nagrzewania cieczy (zwiększania jej temperatury) przebiega zgodnie z powyższym opisem do momentu osiągnięcia jej temperatury wrzenia. Dostarczane ciepło powoduje parowanie cieczy (wrzenie), czyli przemianę fazy ciekłej w gazową bez zmiany temperatury cieczy. Dostarczane ciepło jest wykorzystywane tylko do zmiany stanu skupienia cieczy bez wzrostu temperatury.

Tabela 2.1

Ciepło właściwe przy stałym ciśnieniu c_p i stałej objętości c_v dla propanu, n-butanu i izobutanu [kJ/(kg·K)] [3]

Warunki		Propan	N-butan	Izobutan
Faza ciekła		2,522	2,407	2,438
Faza gazowa, ciśnienie atmosferyczne:				
c_p	0°C	1,503	1,432	1,557
	15°C	1,624	1,662	1,616
	100°C	1,909	1,834	1,834
	500°C	3,534	3,442	3,442
c_v	15°C	1,436	1,511	1,457

[2)] Kiedy podgrzewa się substancję, dostarcza się do niej ciepło. Analogicznie przy ochładzaniu – ciepło jest odbierane. Ilość ciepła, jaką należy dostarczyć przy podgrzewaniu do (lub odebrać przy ochładzaniu od) 1 kg substancji, aby jej temperatura zmieniła się o 1°C, nazywamy ciepłem właściwym danej substancji. Ciała o dużej wartości ciepła właściwego trudno się ogrzewają, tzn. należy im dostarczyć dużo ciepła, aby zwiększyć ich temperaturę (np. woda), natomiast ciała o małej wartości ciepła właściwego łatwo się ogrzewają (do takich substancji zaliczamy metale).

Ciepło parowania[3)] LPG jest zależne od składu LPG i temperatury. Dla typowych warunków, LPG ma ciepło parowania ok. 400 kJ/kg.

Temperatura wrzenia

Temperatury „wrzenia" składników LPG, czyli propanu i butanu, są zależne od ciśnienia. W zbiorniku paliwa parowanie LPG powoduje wzrost ciśnienia, co spowalnia i w końcu doprowadza do warunków równowagi faz, w których dalsze parowanie nie jest możliwe. Inaczej dzieje się w urządzeniach wykonawczych. Paliwo LPG jest rozprężane do ciśnienia panującego w kolektorze dolotowym, a zatem do ciśnienia poniżej ciśnienia atmosferycznego. LPG „wrze" przy ciśnieniu atmosferycznym w temperaturach ujemnych (tabela 2.2).

Tabela 2.2

Temperatura wrzenia różnych węglowodorów

Składnik	Temperatura wrzenia [°C]
propan	–42
n-butan	–0,5
izobutan	–11,72

Jeżeli LPG w przeciętnej temperaturze otoczenia rozpręża się do ciśnienia atmosferycznego bez dostarczenia ciepła z zewnątrz, to w procesie przemiany fazowej następuje pobieranie ciepła z LPG w fazie ciekłej, powodując spadek jego temperatury aż do osiągnięcia przez fazę ciekłą LPG temperatury wrzenia. Pobieranie ciepła pochodzącego z ochładzania fazy ciekłej nie pokrywa zapotrzebowania na energię niezbędną do przemiany fazowej (ok. 400 kJ/kg). Schłodzenie ciekłej fazy LPG do temperatury wrzenia (zakładamy –20°C), powoduje odprowadzenie ok. 100 kJ ciepła wykorzystanego na przemianę fazową (1 kg · 40°C · 2,5 kJ/kg · °C).

Z porównania ciepła parowania i ciepła właściwego wynika, że niemożliwe jest pełne odparowanie LPG o typowej temperaturze otoczenia bez dostarczenia ciepła z zewnątrz.

Objętość fazy ciekłej i fazy gazowej

W trakcie odparowywania fazy ciekłej LPG wzrasta znacznie objętość fazy gazowej w porównaniu z fazą ciekłą. W tabeli 2.3 podano wzrost objętości LPG przy przejściu z fazy ciekłej w gazową wyrażony przez stosunek objętości fazy gazowej do objętości fazy ciekłej (warunki otoczenia: 0°C, 101,32 kPa).

[3)] Ciepło parowania, nazywane również ciepłem utajonym, jest definiowane jako ilość ciepła, którą należy doprowadzić do cieczy (lub odprowadzić z fazy gazowej przy przemianie z gazu w ciecz), aby spowodować zmianę stanu skupienia bez zmiany temperatury.

Tabela 2.3

Wzrost objętości węglowodorów przy przejściu z fazy ciekłej w gazową [3]

Składnik	Stosunek objętości faz gazowej i ciekłej
propan	267,4
n-butan	229,8
izobutan	222,3

Gęstość

Gęstość węglowodorów wchodzących w skład LPG jest w fazie gazowej większa od gęstości powietrza. Stosunek gęstości danego węglowodoru do gęstości powietrza w warunkach normalnych waha się od ok. 1,5 dla propanu, do ponad 2 dla n-butanu i izobutanu (tabela 2.4).

Tabela 2.4

Gęstość wybranych węglowodorów [kg/m³] [3]

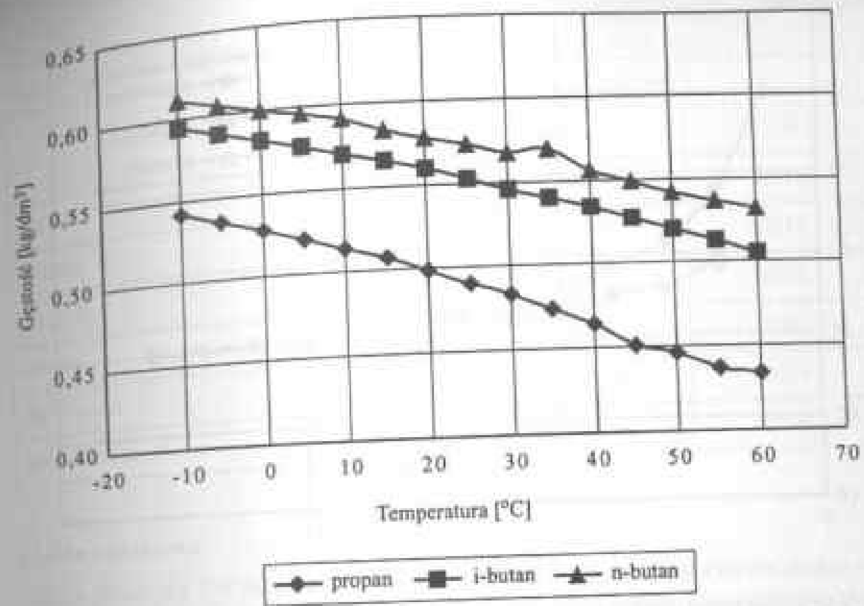
Warunki	Propan		N-butan		Izobutan	
	faza ciekła	faza gazowa	faza ciekła	faza gazowa	faza ciekła	faza gazowa
pod ciśnieniem par w temperaturze 15°C	507	15,9	584	4,8	563	7,0
pod ciśnieniem atmosferycznym (760 mm Hg) i w temperaturze 0°C	–	2,03	–	2,67	–	2,67
pod ciśnieniem atmosferycznym (760 mm Hg) i w temperaturze 15°C	–	1,96	–	2,60	–	2,60

Gęstość LPG w fazie ciekłej jest niższa od gęstości benzyn, która wynosi 750...760 kg/m³ w temperaturze 15°C.

Gęstość składników LPG zmienia się wraz ze wzrostem temperatury z powodu rozszerzania się LPG w fazie ciekłej. Współ-czynnik rozszerzalności objętościowej wynosi od ok. 0,002 do 0,004 na 1°C. Oznacza to, że objętość fazy ciekłej LPG zwiększa się od 0,2% do 0,4% na każdy stopień wzrostu temperatury.

Rozszerzalność fazy ciekłej skutkuje m.in.:

- przy odmierzaniu objętościowym zimą kupuje się więcej paliwa niż w lecie;
- koniecznością zabezpieczania zbiorników LPG przed wzrostem objętości fazy ciekłej magazynowanego paliwa w przypadku ich nagrzania.



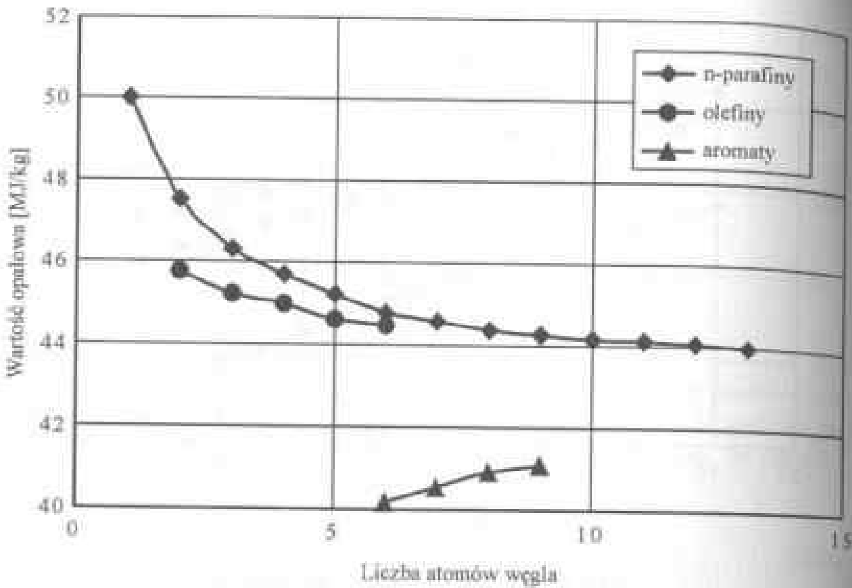
Rys. 2.4. Gęstość głównych składników fazy ciekłej paliwa LPG w funkcji ich temperatury [4]

Wartość opałowa

Miarą jakości paliwa jest ilość energii wydzielającej się podczas spalania paliwa. Do porównywania paliw przyjęło się używanie dwóch wskaźników: ciepła spalania i wartości opałowej. Ciepło spalania określa się dla procesu spalania, w którym paliwo spala się do związków nie podlegających dalszemu spalaniu, tzn. dwutlenku węgla i wody (czyli wystąpi tzw. spalanie zupełne) oraz gdy nastąpi całkowite skroplenie wywiązanej w trakcie przemiany pary wodnej, a temperatura spalin obniży się do 25°C. Wytworzoną w takich warunkach energię cieplną nazwiemy ciepłem spalania.

Drugim z parametrów jest wartość opałowa paliwa. Jest to ciepło spalania pomniejszone o ciepło parowania pary wodnej znajdującej się w spalinach.

Wartość opałowa związku o znanym wzorze strukturalnym wynika z liczby atomów poszczególnych pierwiastków wchodzących w jego skład, jak również z ich wzajemnego położenia w cząsteczce (energii wiązań). W przypadku paliw węglowodorowych (m.in. dla propanu i butanu), wartość opałowa na ogół zmniejsza się wraz ze wzrostem liczby atomów węgla w cząsteczce (z wyjątkiem węglowodorów aromatycznych). Wynika to ze zmniejszania się ilościowego stosunku atomów wodoru do atomów węgla w cząsteczce (wartość opałowa wodoru wynosi 120 MJ/kg, natomiast węgla 32,7 MJ/kg). Zależność wartości opałowej od liczby atomów węgla i budowy cząsteczki dla wybranych węglowodorów przedstawiono na rys. 2.5. W tabeli 2.5 podano wartość opałową ciekłego gazu dla różnej procentowej zawartości propanu i butanu oraz dla porównania średnią wartość dla benzyn.



Rys. 2.5. Wpływ liczby atomów węgla i budowy cząsteczki na wartość opałową

Tabela 2.5

Wartości opałowe LPG w zależności od procentowej zawartości propanu i butanu (t = 25°C, p = 101,325 kPa)

Paliwo	Wartość opałowa [MJ/kg]	Wartość opałowa [MJ/dm³]
Propan/butan		
30/70	45,90	25,15
40/60	45,96	24,80
50/50	46,03	24,45
60/40	46,09	24,10
70/30	46,15	23,75
Benzyna[a]	~43,5	~32,8

Wartości opałowe głównych węglowodorów wchodzących w skład LPG podano w tabeli 2.6. (dla temperatury 25°C i ciśnienia 101,325 kPa).

[a] Benzyna jest mieszaniną wielu związków chemicznych, a zatem wartość opałowa zależy od jego składu. Podane wartości odnoszą się do przeciętnej benzyny 95-oktanowej [5].

Tabela 2.6

Wartości opałowe węglowodorów występujących w LPG [6]

Składnik	Wartość opałowa		
	[MJ/kg]	[MJ/m³]	[kJ/mol]
propan	46,33	84,93	2043
n-butan	45,72	110,47	2657
propylen	45,77	80,06	1926
n-buten	45,28	105,62	2541
cis-2-buten	45,16	105,34	2534
trans-2-buten	45,10	105,19	2530

Liczba oktanowa

Liczba oktanowa jest umownym wskaźnikiem liczbowym, stanowiącym miarę odporności na spalanie stukowe paliw przeznaczonych do silników o zapłonie iskrowym, określaną przez porównanie odporności na spalanie stukowe badanego paliwa z odpornością mieszaniny dwóch paliw o krańcowo różnej odporności na spalanie stukowe (izooktanu, dla którego przyjęto umownie liczbę oktanową 100 oraz n-heptanu, dla którego przyjęto umownie liczbę oktanową 0).

Ze względu na skłonność paliwa do spalania stukowego zależną od warunków pracy silnika, rozróżnia się dwie wartości liczby oktanowej wyznaczane w znormalizowanych warunkach na silniku wzorcowym: liczbę oktanową badawczą (LOB) i liczbę oktanową motorową (LOM). Obie metody wykorzystują te same silniki badawcze, lecz różnią się np. prędkością obrotową i kątem wyprzedzenia zapłonu silnika badawczego.

Liczba oktanowa badawcza jest większa od liczby oktanowej motorowej i to ona jest podawana na dystrybutorach stacji paliw (różnica między tymi liczbami może wynosić do 10). Liczba oktanowa badawcza lepiej charakteryzuje zachowanie paliwa w silnikach samochodów osobowych w warunkach jazdy miejskiej i przy częściowym obciążeniu, a liczba oktanowa motorowa – w warunkach jazdy pozamiejskiej, przy stałym dużym obciążeniu i większej prędkości obrotowej silnika.

Liczba oktanowa paliwa LPG jest zależna od właściwości jego komponentów oraz ich zawartości w paliwie. W tabeli 2.7 zamieszczono wartości liczb oktanowych badawczej i motorowej węglowodorów występujących w paliwie LPG oraz dla porównania benzyny Pb95 i Pb98. Jak wynika z przedstawionych wartości, liczba oktanowa badawcza i motorowa paliw LPG występujących w handlu jest nie niższa niż benzyny 95-oktanowej.

Tabela 2.7

Liczby oktanowe związków wchodzących w skład LPG [3]

Nazwa związku	LOB	LOM
propan	111,5	100
n-butan	95	92
izobutan	100,4	99
propylen	100,2	85
n-buten-1	100	80
n-buten-2	101	83
benzyna Pb95	min. 95	83...86
benzyna Pb98	min. 98	90...92

Stała stechiometryczna paliwa

Do spalenia paliwa dostarczonego do silnika potrzebny jest tlen zawarty w powietrzu. Ilość powietrza potrzebną teoretycznie do całkowitego i zupełnego spalenia przyjętej jednostki paliwa nazywana jest stałą stechiometryczną paliwa lub teoretycznym zapotrzebowaniem powietrza.

Mieszanka paliwowo-powietrzna o składzie równym teoretycznemu zapotrzebowaniu powietrza jest nazywana mieszanką stechiometryczną. Mieszanka zawierająca więcej paliwa niż określone teoretycznym zapotrzebowaniem powietrza jest nazywana mieszanką bogatą, natomiast zawierająca mniej paliwa – mieszanką ubogą. Wartości stałej stechiometrycznej dla wybranych paliw podano w tabeli 2.8.

Tabela 2.8

Teoretyczne zapotrzebowanie powietrza do spalenia różnych paliw

Paliwo	Teoretyczne zapotrzebowanie powietrza		
	[m³/m³]	[m³/kg]	[kg/kg]
propan	24,36	12,82	15,64
85% propan+15% butan	25,24	12,79	15,61
30% propan+70% butan	29,15	12,70	15,49
butan	31,87	12,65	15,43
benzyna silnikowa	–	ok. 12,05	ok. 14,7

Prędkość spalania

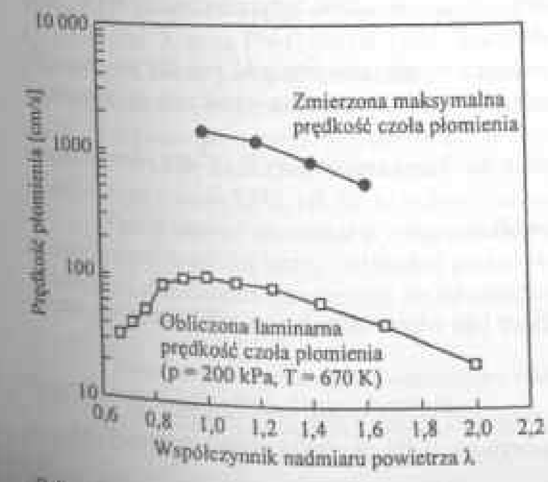
Na prędkość spalania paliwa ma wpływ bardzo duża liczba czynników. Można tu wyróżnić następujące grupy czynników:
- konstrukcyjne, takie jak na przykład kształt komory spalania, ukształtowanie kanałów dolotowych i związany z tym stopień zawirowania mieszanki;
- właściwości fizykochemiczne paliwa, m.in. wartość opałowa, przewodność cieplna;
- współczynnik nadmiaru powietrza;
- energia zapłonu i inne.

Prędkość rozchodzenia się płomienia mierzy się w warunkach laboratoryjnych. W warunkach rzeczywistego spalania prędkość ta jest uzależniona od warunków panujących w komorze spalania konkretnego silnika.

Na rys. 2.6 przedstawiono prędkość rozchodzenia się płomienia mieszanki paliwowo-powietrznej w warunkach laminarnych oraz burzliwych, przy spalaniu mieszanek LPG z powietrzem, dla różnych wartości współczynnika nadmiaru powietrza.

Stopień zawirowania w komorze spalania wpływa decydująco na prędkość rozchodzenia się czoła płomienia. Stopień zawirowania jest zależny od ukształtowania kanału dolotowego i komory spalania oraz warunków pracy silnika. Optymalne wartości są dobierane przy projektowaniu przebiegu procesu spalania mieszanki. Należy dodać, że zbyt duże zawirowanie w komorze spalania powoduje wygaszanie płomienia. Prędkość spalania zmniejsza się wraz z zubożeniem mieszanki paliwowo-powietrznej.

Niemal z reguły instalacje gazowe są montowane jako alternatywny układ zasilania i w związku z tym nie dokonuje się zmian konstrukcyjnych kolektora dolotowego i komór spalania, dlatego też różnica w prędkości spalania benzyny i gazu propan-butan wynika z ich właściwości fizykochemicznych.



Rys. 2.6. Prędkość rozchodzenia się płomienia mieszanki paliwowo-powietrznej w warunkach laminarnych oraz burzliwych, przy spalaniu mieszanek LPG z powietrzem, dla różnych wartości współczynnika nadmiaru powietrza [7]

Granice zapalności

Granice zapalności określają zakres składu mieszanki, w którym jest możliwe jej zapalenie. Dolna granica określa jak bogatą mieszankę paliwa z powietrzem jest w stanie spalić silnik, natomiast górna – jak ubogą. Na granice zapalności mają wpływ takie czynniki, jak temperatura mieszanki, ciśnienie oraz zawartość spalin w komorze spalania. Wzrost temperatury mieszanki powoduje przesunięcie dolnej granicy w stronę mieszanek bogatszych, natomiast górną w stronę mieszanek uboższych. Zwiększenie resztek spalin w komorze spalania powoduje zawężenie zakresu zapalności mieszanki.

Zapach

Propan oraz butan są gazami praktycznie bezwonnymi. Nieprzyjemny zapach paliwa LPG nadawany jest celowo przez wprowadzenie nawaniacza, czyli substancji, która dodana do paliwa w ilościach śladowych nadaje mu wyraźnie nieprzyjemną woń. Stosowane jest to dla sygnalizacji wycieków paliwa LPG.

Mieszanie się z powietrzem

LPG słabo miesza się z powietrzem. Jako gaz cięższy od powietrza opada w dół. Jeżeli jego stężenie jest duże, występuje w postaci białej mgiełki. Do wymieszania się LPG z powietrzem potrzebny jest ruch powietrza. W pomieszczeniach zamkniętych ze słabą cyrkulacją powietrza zaleganie LPG może trwać godzinami.

Normy

Wymagania dla propanu – butanu są określone w normie PN-82/C-96000 „Przetwory naftowe. Gazy węglowodorowe (ciekłe C_3–C_4)".

W normie tej rozróżniano 3 rodzaje mieszanin:

- mieszanina A – butan techniczny,
- mieszanina B – propan-butan techniczny,
- mieszanina C – propan techniczny.

Do napędu silników spalinowych przeznaczone były mieszaniny B i C. Wymagany skład podany został w tabeli 2.9.

W normie tej określono również wymaganą prężność par dla poszczególnych mieszanin (tabela 2.10.), jednak jest ona oznaczana wyłącznie na specjalne żądanie odbiorcy.

Norma ta określa jako paliwa silnikowe mieszaniny B i C dla okresu zimowego.

Przedmiotem normy są ponadto:

- zawartość siarkowodoru,
- zawartość siarki ogólnej,
- zawartość oleju mineralnego, który jest odpowiedzialny za odkładanie się zanieczyszczeń w reduktorach,
- zawartość wody,
- sprawdzenie zapachu – zapach musi być wyczuwalny przy osiągnięciu 20% progu wybuchowości w powietrzu czyli ok. 0,4% objętości paliwa w powietrzu.

Tabela 2.9

Wymagania odnośnie składu węglowodorowego dla mieszanin A, B i C według PN-C-96000:1982

Węglowodór[5])	Mieszanina		
	A	B	C
C_1	–	<0,1	<0,1
C_2	<0,2	<4,0	<5,5
C_3	<5,0	18,0...55,0	>90,0
C_4	>95,0	>45,0	<10,0
C_5	<1,0	<1,0	nie zawiera

Tabela 2.10

Prężność par mieszanin węglowodorowych wg PN-82/C-96000

Wymagania	Mieszanina A	Mieszanina B	Mieszanina C
prężność par w temp. –15° nie mniejsza niż	–	0,049	0,20
prężność par w temp. –40° nie większa niż	0,47	–	–
prężność par w temp. –70° nie większa niż	1,08	2,55	3,04

- sprawdzenie zawartości amoniaku,
- wymaganie minimalnej wartości opałowej.

W roku 1998 powyższą normę zastąpiono normą PN-C-96008:1998 „Przetwory naftowe. Gazy węglowodorowe. Gazy skroplone C_3–C_4", której nie stosuje się jednak do gazów skroplonych stanowiących paliwa dla pojazdów z silnikami spalinowymi. Norma PN-C-96000:1986 obowiązuje nadal w zakresie stosowania gazu propan-butan jako paliwa do silników spalinowych. Prawdopodobnie w 2003 roku zostanie ona zastąpiona przez nową normę „Paliwa do pojazdów samochodowych. Skroplone gazy węglowodorowe LPG. Wymagania i metody badań" o nieustalonym jeszcze numerze. W normie tej nie ma wymagań odnośnie składu węglowodorowego paliwa LPG, tak jak to było w normie PN-82/C-96000.

Wprowadzono natomiast wymagania odnośnie:

- minimalnej wartości liczby oktanowej motorowej[6]),
- zawartości metanolu (używanego do odwadniania LPG),

---

[5]) Oznaczenie C_1 określa węglowodory o jednym atomie węgla w cząsteczce, zatem C_3 oznacza propan i propylen, a C_4 – butan, buteny i butadieny.

[6]) Właściwości przeciwstukowe benzyn są określane za pomocą liczby oktanowej badawczej, natomiast LPG – za pomocą liczby oktanowej motorowej. Jakie są różnice – patrz do tabeli 2.7.

– zawartości dienów,
– działania korodującego paliwa na miedź.

Zmieniono również wymagania dotyczące:
– zawartości oleju mineralnego (zamieniono na pomiar pozostałości po odparowaniu),
– obecności wody w paliwie,
– prężności par paliwa.

Określono 4 gatunki LPG oznaczone jako A, B, C i D o wymaganej minimalnej prężności par (tabela 2.11). W każdym kraju, który przyjmie tę normę, będą ustalone, które gatunki mają być stosowane w zimie. W Polsce załącznik do projektu normy określa okres zimowy jako okres od 1 listopada do 31 marca. W okresie tym parametry LPG powinny odpowiadać wymaganiom dla gatunku A.

Tabela 2.11

Minimalne wartości prężności par LPG

Gatunek	Wartość minimalna prężności par [kPa] w temperaturze 40°C	Temperatura paliwa LPG odpowiadająca nadciśnieniu 150 kPa [°C][7]
A	1050	–10
B	900	–5
C	800	0
D	600	+10

[7] Odpowiada prężności par 250 kPa, wymaganej jako minimalne ciśnienie w zbiorniku paliwa gazowego dla większości instalacji LPG.

ROZDZIAŁ 3

Mieszalnikowe układy zasilania LPG

Mieszalnikowe układy zasilania LPG są uniwersalne. Ich elementy można stosować zamiennie w różnych typach samochodów. Dotyczy to reduktorów, elektrozaworów LPG i benzynowych oraz w pewnych granicach również elementów instalacji elektrycznej i mieszalników.

Zasady montażu określają przepisy[1], są to jednak tylko ogólne wytyczne wynikające z zasad bezpieczeństwa użytkowania układów zasilania LPG, a nie technologie montażu układu w danym samochodzie. Oznacza to, że jeżeli układy zasilania LPG złożone z identycznych elementów są montowane do dwóch identycznych samochodów, to oba montaże mogą zostać poprawnie wykonane zarówno pod względem przepisów, jak i poprawności działania układów, pomimo odmiennego rozmieszczenia poszczególnych elementów. Możliwość prawie dowolnego doboru elementów układu wytwarzanych przez różnych producentów, możliwość zestawienia różniących się kompletacją zestawów przeznaczonych do tego samego typu samochodu oraz stosowanie wielu sposobów wprowadzania paliwa do układu dolotowego silnika, powoduje zwiększenie liczby możliwych wariantów przeprowadzenia montażu.

Sposób montażu mieszalnikowych układów zasilania LPG jest rezultatem wymagań przepisów, zaleceń producentów elementów tych układów oraz doświadczenia zawodowego montującego.

Montaż układów mieszalnikowych uchodzi za łatwy do wykonania. Osoby po krótkim szkoleniu są zdolne do samodzielnego montażu elementów i wykonywania podstawowych regulacji w taki sposób, że będzie możliwa eksploatacja samochodu. Jednak zapewnienie optymalnego działania układu wymaga montera o wysokich kwalifikacjach oraz wyposażenia warsztatu w urządzenia kontrolno-pomiarowe.

[1] Patrz w dodatku A.

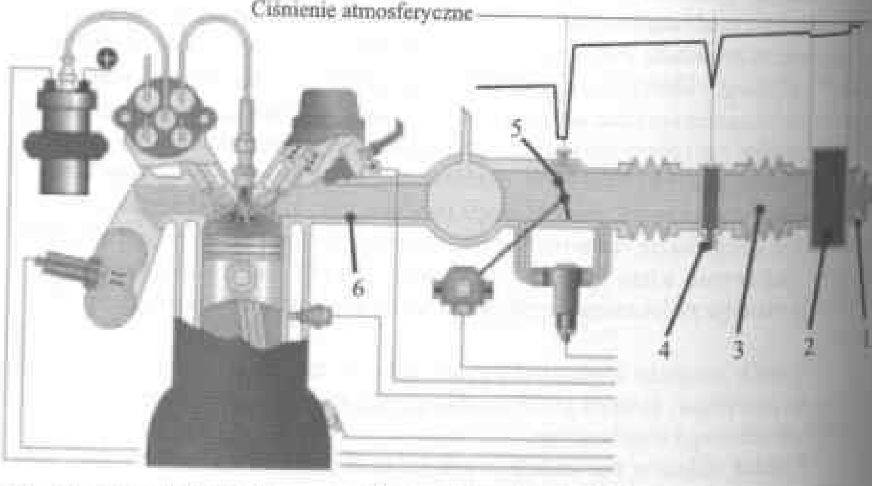
W rozdziale opisano zasady działania mieszalnikowych układów zasilania LPG I i II generacji, z uwzględnieniem podstawowych zależności między elementami układów, jak również sposób dostosowania układu do danego silnika. Przykłady ilustrują spotykane rozwiązania, zwracając uwagę na ich różnorodność i zróżnicowanie poziomu technicznego.

3.1. Układy zasilania LPG I generacji

3.1.1. Układ dolotowy silnika

Pracujący silnik spalinowy zasysa powietrze przez układ dolotowy. Ilość zasysanej mieszanki zależy od oporów przepływu na drodze od wlotu do filtra powietrza, do wnętrza cylindra silnika. Opór ten, zależny od prędkości obrotowej silnika, może być regulowany położeniem przepustnicy w układzie dolotowym[2]. Zamykanie przepustnicy zwiększa opory przepływu powietrza (lub mieszanki), powodując spadek ciśnienia na wlocie do cylindra i zmniejszenie jego napełnienia[3] powietrzem (mieszanką). Przy maksymalnym otwarciu przepustnicy opory przepływu są najmniejsze, a napełnienie cylindrów maksymalne – przy danej prędkości obrotowej.

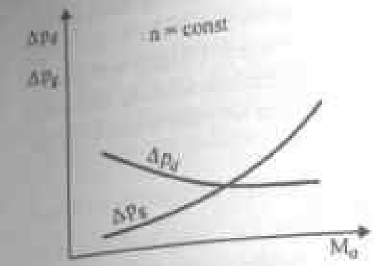
Silnik samochodowy w przeciętnych warunkach eksploatacji przez większość czasu pracuje przy częściowo otwartej przepustnicy i zwiększonych w ten sposób oporach przepływu w układzie dolotowym.



Rys. 3.1. Schemat układu dolotowego silnika i przebieg zmian ciśnienia
1 – wlot, 2 – filtr powietrza, 3 – przewód doprowadzający, 4 – mieszalnik (element układu zasilania LPG), 5 – przepustnica, 6 – kolektor dolotowy

[2] W pierwszym seryjnym silniku (BMW) o elektrycznie otwieranych zawotach, regulację napełnienia cylindrów zapewniają zmienne fazy rozrządu i/lub zmienne skoki zaworów. W takim silniku całą objętość układu dolotowego należy traktować jako „nad przepustnicą".

[3] Sprawność napełnienia określona jest stosunkiem masy powietrza dostarczonej do cylindra do masy wynikającej z jego objętości skokowej i gęstości (masy właściwej) powietrza atmosferycznego.

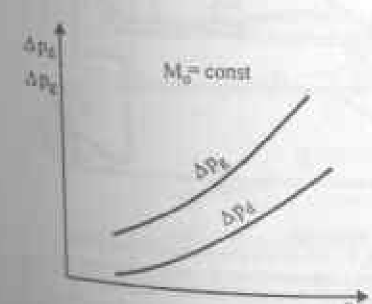


Rys. 3.2. Przebieg zmian ciśnienia w kolektorze dolotowym w funkcji obciążenia
Δp_d – podciśnienie za przepustnicą,
Δp_g – podciśnienie u wylotu mieszalnika,
M_o – moment obrotowy, n – prędkość obrotowa

W układzie dolotowym silnika można wyróżnić dwie części różniące się charakterem zmian ciśnienia powietrza. Część „nad przepustnicą" obejmuje przestrzeń od wlotu filtra powietrza do przepustnicy: wlot, filtr powietrza oraz przewody doprowadzające i część gaźnika. Największy udział w generowaniu oporów przepływu ma w tej części filtr powietrza i gaźnik, a w przypadku układu zasilania LPG także przysłony różnej konstrukcji oraz mieszalniki. Podciśnienie rośnie wraz ze wzrostem prędkości przepływu powietrza przez układ dolotowy, co ma miejsce przy wzroście prędkości obrotowej silnika (Δp_g na rys. 3.3), jak również przy wzroście momentu obrotowego (Δp_g na rys. 3.2).

Natężenie przepływu powietrza w układzie dolotowym i wynikająca z niego prędkość przepływu powietrza w danym przekroju układu dolotowego, są związane z ilością paliwa potrzebnego do uzyskania mieszanki o wymaganym składzie. Sygnał zmian ciśnienia jest wykorzystywany do sterowania ilością podawanego paliwa tak w gaźnikowych, jak i w mieszalnikowych układach zasilania LPG[4].

Część układu dolotowego „pod przepustnicą" obejmuje kolektor dolotowy i kanały dolotowe w głowicy. Dla silnika pracującego ze stałą prędkością obrotową, podciśnienie w kolektorze dolotowym maleje wraz ze zwiększeniem się zapotrzebowania na paliwo (Δp_d na rys. 3.2). Rośnie ono wraz ze wzrostem prędkości obrotowej silnika (Δp_d na rys. 3.3). Z tego powodu przebieg ciśnienia „pod przepustnicą" nie może być wykorzystany do sterowania wydatku paliwa w układach mie-



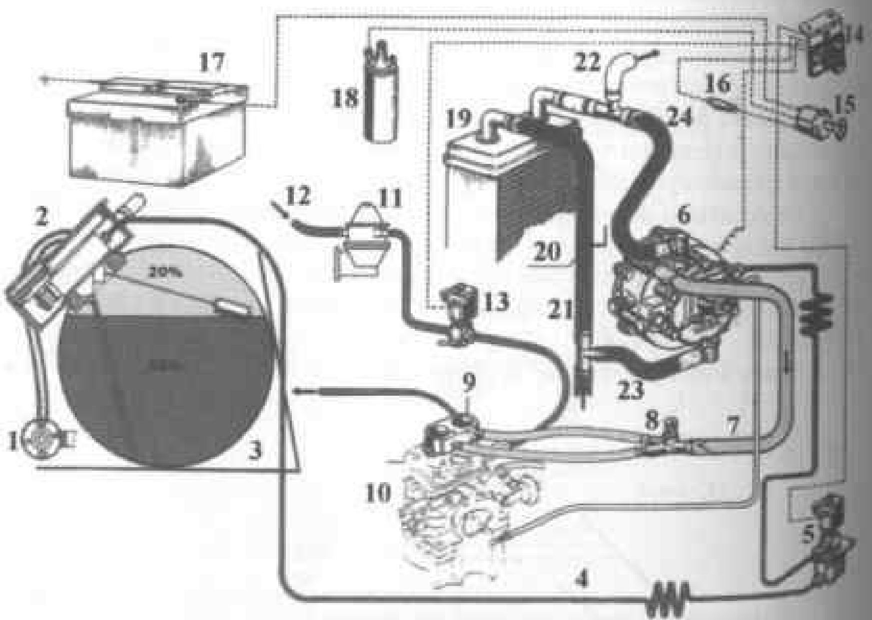
Rys. 3.3. Przebieg zmian ciśnienia w funkcji prędkości obrotowej silnika przy stałym obciążeniu
Δp_d – podciśnienie za przepustnicą,
Δp_g – podciśnienie u wylotu mieszalnika,
n – prędkość obrotowa,
M_o – moment obrotowy

[4] Można zauważyć wiele podobieństw w działaniu układu mieszalnikowego LPG i gaźników.

szalnikowych. Wiele układów wtrysku benzyny sterowanych elektronicznie wykorzystuje tę zależność, mierząc ciśnienie w kolektorze dolotowym (MAP) oraz prędkość obrotową silnika do obliczania wielkości dawki benzyny. Układy wtryskowe LPG wykorzystują takie same zależności, mierząc bezpośrednio te dwie wielkości (układy III generacji) lub odczytując sygnały sterujące układu wtrysku benzyny (układy IV generacji).

3.1.2. Zasada działania układów mieszalnikowych

Paliwo LPG występuje w zbiorniku w dwóch fazach: ciekłej i gazowej. Ciśnienie par nasyconych paliwa LPG w zbiorniku zależy od temperatury oraz jego składu. Paliwo LPG pobierane jest w postaci ciekłej z dna zbiornika. Pod ciśnieniem panującym w zbiorniku paliwo LPG jest podawane do przewodu paliwowego, którym płynie do reduktora. Między reduktorem a zbiornikiem paliwa gazowego montuje się jeden (instalacje wg Regulaminu 67 EKG ONZ) lub dwa (instalacje wg Regulaminu 67 EKG ONZ, seria 01 poprawek) zawory odcinające, które podczas pracy silnika zasilanego LPG są otwarte, a zamykają się przy przełączeniu zasilania na benzynę lub przy wyłączeniu silnika.



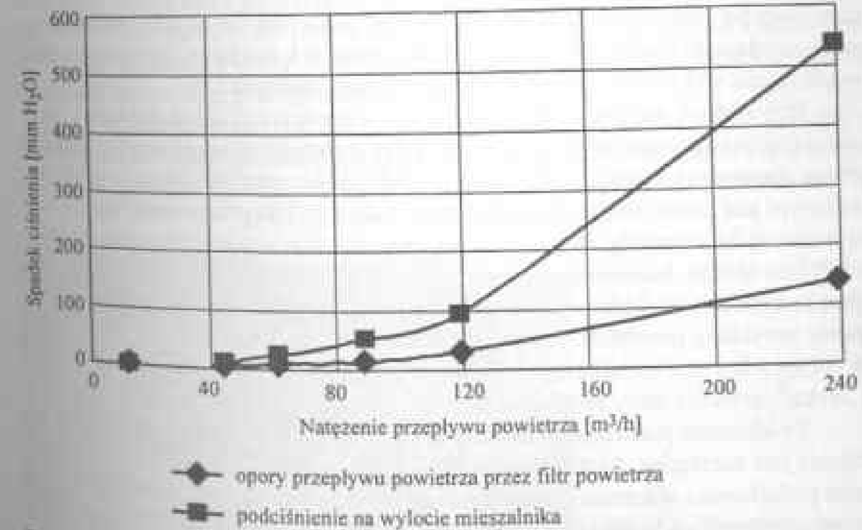
Rys. 3.4. Schemat mieszalnikowego układu zasilania LPG I generacji
1 – zawór tankowania, 2 – wielozawór, 3 – zbiornik paliwa gazowego, 4 – miedziany przewód zasilający LPG, 5 – elektrozawór LPG, 6 – reduktor, 7 – przewód LPG łączący reduktor z mieszalnikiem, 8 – zawór dławiący do regulacji, 9 – mieszalnik, 10 – gaźnik, 11 – przeponowa pompa benzyny, 12 – przewód zasilania benzyną, 13 – elektrozawór benzynowy, 14 – przełącznik wyboru paliwa, 15 – stacyjka, 16 – bezpiecznik, 17 – akumulator, 18 – cewka zapłonowa, 19 – nagrzewnica, 20 – zawór nagrzewnicy, 21 – przewód doprowadzający ciecz chłodzącą do nagrzewnicy, 22 – przewód łączący nagrzewnicę z silnikiem, 23 – przewód doprowadzający ciecz chłodzącą do reduktora, 24 – przewód odprowadzający ciecz chłodzącą z reduktora

Reduktor jest urządzeniem, w którym paliwo LPG rozpręża się i odparowuje. Paliwo to charakteryzuje się bardzo dużym ciepłem parowania. Powoduje to konieczność podgrzewania reduktora przepływającą przez jego kanały cieczą z układu chłodzenia silnika. Reduktor jest połączony z przestrzenią „nad przepustnicą" przewodem wprowadzającym LPG do układu dolotowego silnika. Podciśnienie w układzie dolotowym steruje przez ten przewód wydatkiem reduktora.

Zasada sterowania wydajnością reduktora

Na rys. 3.5 i w tabeli 3.1 przedstawiono wyniki pomiarów podciśnienia[5] w przewodzie łączącym filtr powietrza z zespołem przepustnic układu wtryskowego silnika („nad przepustnicą").

Podciśnienie wytworzone w układzie dolotowym wzrasta wraz z prędkością przepływu powietrza i wywołuje podciśnienie w komorze II stopnia reduktora. Różnica ciśnień po obu stronach przepony II stopnia regulacji ciśnienia steruje pracą zaworu reduktora. Jeżeli z reduktora nie wypływa LPG, to podciśnienie panujące w punkcie wprowadzenia LPG do układu dolotowego jest takie samo jak podciśnienie w komorze II stopnia reduktora. W czasie pracy reduktora, przepływ LPG w kierunku mieszalnika powoduje powstanie różnicy ciśnień między komorą II stopnia, a punktem wprowadzenia LPG do układu dolotowego, z powodu oporów przepływu paliwa LPG w postaci gazowej przez przewód łączący reduktor z układem dolotowym. Powoduje to zmniejszenie podciśnienia w komorze II stopnia, zmniejsza różnicę ciśnień po obu stronach przepony i ogranicza wypływ paliwa LPG. Ponieważ



Rys. 3.5. Przebieg zmian ciśnienia w układzie dolotowym w funkcji natężenia przepływu powietrza

[5] Podciśnienie równe jest różnicy ciśnienia bezwzględnego panującego w opisanym punkcie i ciśnienia atmosferycznego.

Tabela 3.1

Natężenie przepływu i podciśnienie w kolektorze dolotowym dla różnych warunków pracy przykładowego silnika

Warunki pracy	Prędkość obrotowa silnika [obr/min]	Natężenie przepływu [m_3/h]	Podciśnienie [mmH_2O]	
			za filtrem powietrza	w przekroju mieszalnika
bieg jałowy	750	13	2	2
podwyższona prędkość obrotowa biegu jałowego[*)]	3000	52	5	12
prędkość stała 60 km/h	1725	44	4	10
prędkość stała 80 km/h	2300	61	8	24
prędkość stała 100 km/h	2800	89	14	53
prędkość stała 120 km/h	3400	119	30	95
pełne otwarcie przepustnicy	5200	239	141	538

wzrost oporów przepływu LPG na odcinku od reduktora do układu dolotowego zmienia wydajność reduktora w funkcji podciśnienia w kolektorze dolotowym, właściwość ta jest wykorzystywana do regulacji układu zasilania LPG.

Przy niskich prędkościach przepływu powietrza przez układ dolotowy, podciśnienie w mieszalniku wynosi zaledwie kilka milimetrów słupa wody. Stabilne i pewne sterowanie wydajnością reduktora tak niskim podciśnieniem w układzie dolotowym jest często trudne do technicznej realizacji. Dla polepszenia sterowania stosowane są dwie metody zwiększenia podciśnienia w miejscu wprowadzenia paliwa LPG do układu dolotowego:

- przez zastosowanie dodatkowego elementu zwiększającego opory przepływu (typowe przykłady przedstawiono na fotografiach 3.1 do 3.4),
- w przypadku mieszalnika „palnikowego", montaż mieszalnika o mniejszym „oczku", czyli średnicy zwężki.

Zwiększanie podciśnienia zależne jest od oporów przepływu powietrza. Podciśnienie jest niezbędne do sterowania składem mieszanki LPG-powietrze. Zwiększanie podciśnienia w mieszalniku w zakresie pracy silnika na biegu jałowym przez dławienie przepływu w układzie dolotowym, powoduje zmianę podciśnienia w całym zakresie prędkości przepływu powietrza.

[*)] Jak bieg jałowy, lecz z lekko wciśniętym pedałem w celu utrzymania stałej prędkości obrotowej silnika.



Fot. 3.1. Kryza dławiąca na wlocie do filtra powietrza wykonana z tworzywa sztucznego

Kryzowanie, czyli sztuczne zwiększanie podciśnienia w układzie dolotowym, zmniejsza wpływ zakłóceń ciśnienia na skład mieszanki LPG-powietrze.

Dla wyjaśnienia rozpatrzmy następujący przykład. Zakładamy, że przez układ dolotowy silnika przepływa powietrze ze stałą prędkością, wartość podciśnienia wynosi 40 mm H_2O, natomiast po wstawieniu kryzy – 80 mm H_2O. W obu przypadkach, tzn. bez kryzy i z zamontowaną kryzą skład mieszanki jest zbliżony do stechiometrycznego (regulacja dokonana za pomocą śruby regulacyjnej zaworu dławiącego). Jeżeli teraz wystąpią czynniki wprowadzające zakłócenie o wartości na przykład 4 mm H_2O, to dla układu dolotowego bez kryzy jest to 10% wartości podciśnienia, natomiast z kryzą – tylko 5%. Doświadczenia z eksploatacji potwierdzają, że układy kryzowane pracują stabilniej.

Dodatkowe dławienie ma zatem pozytywny wpływ na sterowanie pracą reduktora dla małych prędkości przepływu powietrza przez układ dolotowy, lecz ogranicza maksymalne, możliwe do osiągnięcia napełnienie cylindra, czyli moment ob-



Fot. 3.2. Kryza dławiąca wykonana przez okręcenie wlotu do filtra powietrza taśmą i zablokowanie w ten sposób części przelotu (rozwiązanie dalece nieprofesjonalne)



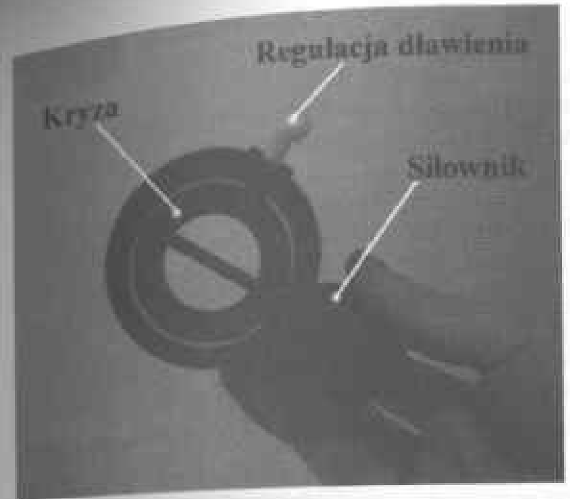
Fot. 3.3. Przesłona z blachy zamontowana w filtrze powietrza, zwiększająca podciśnienie w znajdującym się pod filtrem mieszalniku



rotowy silnika. Efekt ten występuje niezależnie od paliwa, którym jest zasilany silnik. Przy zasilaniu benzyną dodatkowe dławienie jest niepotrzebne, a w przypadku silników gaźnikowych może mieć wpływ na zwiększanie zużycia benzyny.

Na fot. 3.4 przedstawiono rozwiązanie eliminujące w znacznym stopniu wyżej opisane wady. Jest nią dodatkowa przepustnica powietrza montowana w układach dolotowych silników, która przy zasilaniu LPG zamyka się, powodując wzrost oporów przepływu, a po przełączeniu zasilania na benzynę zostaje otwarta przez siłownik elektryczny i praktycznie nie powoduje wzrostu oporów. Przepustnica ta jest wykonana w kształcie pierścienia, zatem zamknięta zawęża przelot do średnicy otworu wewnątrz pierścienia. Regulację oporów przepływu dla układu dolotowego silnika przeprowadza się za pomocą wkrętu regulacyjnego, który ogranicza kąt otwarcia przepustnicy.

Zamontowanie mieszalnika palnikowego o mniejszej średnicy zwężki powoduje zwiększenie ciśnienia w przekroju mieszalnika w funkcji przepływu powietrza. Mieszalnik tego typu wytwarza wyższe podciśnienie sterujące, powodując mniejsze straty przepływu niż opisane powyżej dławienie dolotu.





Fot. 3.4. Rozwiązanie fabryczne firmy Landi Renzo – przesłona do układu dolotowego w kształcie przepustnicy

Filtr powietrza

Jak wykazano powyżej, podciśnienie panujące w układzie dolotowym[7] steruje ilością paliwa LPG dostarczanego do kolektora dolotowego. Podciśnienie owo zależne jest od strat przepływu występujących na poszczególnych elementach układu dolotowego, znajdujących się na odcinku od chwytu powietrza do mieszalnika. Jednym z tych elementów jest filtr powietrza. Opory przepływu przez filtr powietrza zmieniają się w trakcie użytkowania i osadzania się na nim zanieczyszczeń. Wymiana filtra związana jest więc ze skokową zmianą oporów przepływu przez filtr powietrza (przeważnie spadkiem)[8], które w miarę przebiegu samochodu rosną. Wzrost

[7] Ściślej w miejscu wprowadzenia LPG do układu dolotowego.

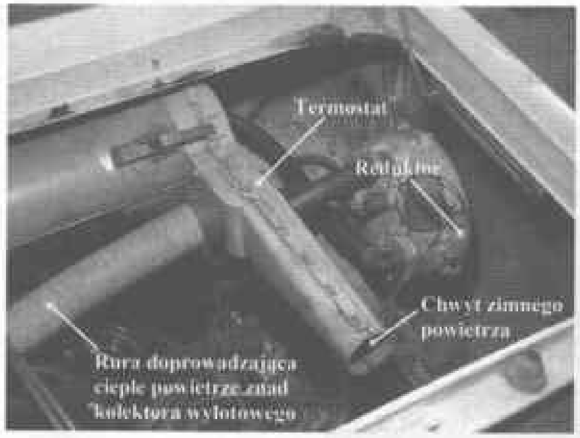
[8] Jeżeli wymiana dotyczy identycznych wkładów, to można liczyć na zmniejszenie oporów przepływu. Opory przepływu przez wkład filtra powietrza zależne są również od rodzaju materiału pochłaniającego zanieczyszczenia.

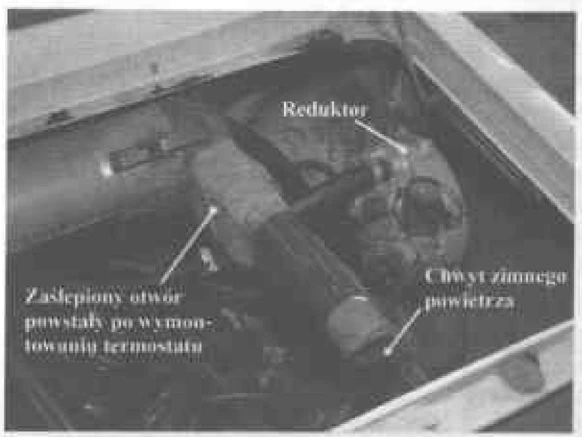
oporów filtra powoduje powstanie większego sygnału sterującego i zwiększa wypływ paliwa, co prowadzi do wzbogacania mieszanki LPG-powietrze. Wymiana filtra na nowy powoduje zubożenie mieszanki.

Zabrudzenie się filtra powietrza ma ten sam wpływ na kierunek zmiany składu mieszanki, co montaż kryz w układzie dolotowym, a wymiana filtra – ich demontaż.

Długość kanałów powietrza

Jak łatwo zauważyć, zmiana oporów przepływu ma wpływ na sterowanie składem mieszanki paliwowo-powietrznej. Dotyczy to również długości przewodów dolotowych (od chwytu powietrza do filtra). Dla pracy silnika gaźnikowego istotna jest temperatura powietrza pobieranego do układu dolotowego. Aby zapewnić zbliżenie temperatury zasysanego powietrza do optymalnej, przy zasilaniu benzyną pobiera się podgrzane powietrze znad kolektora wylotowego, które miesza się z powietrzem o temperaturze otoczenia.





Fot. 3.5. Oryginalne rozwiązanie chwytu powietrza w silniku samochodu Skoda 120 (zdjęcie górne) oraz ze zdemontowanym termostatem i zaślepionym powstałym po nim otworem (zdjęcie dolne)

Regulacja temperatury polega na odpowiednim mieszaniu powietrza pochodzącego z obu źródeł, za pomocą przesłony sterowanej termostatem bądź za pomocą ręcznie przesuwanej przesłony (zima/lato). Różnica długości przewodów łączących dwa chwyty powietrza wystarcza, aby powstał problem z uzyskaniem odpowiedniego składu mieszanki na biegu jałowym przy zasilaniu LPG podczas nagrzewania silnika[9]. Najczęściej stosowanym rozwiązaniem jest zablokowanie jednego z chwytów powietrza (częściej podgrzanego) przez blokadę przesłony termostatu lub demontaż termostatu i zaślepienie jednego z wlotów powietrza (fot. 3.5).

Teoretycznie możliwy jest taki dobór kryz zamontowanych w obu przewodach lub w jednym z nich, że skompensowana zostanie zmiana oporów przepływu. Rozwiązanie takie nie jest jednak praktycznie stosowane.

Wpływ prędkości jazdy

Ruch samochodu względem powietrza powoduje napór powietrza (ciśnienie dynamiczne) na jego przednią część. Wloty powietrza są zazwyczaj umieszczone w miejscu, w którym występuje duże ciśnienie dynamiczne napływającego powietrza, w celu wykorzystania tego efektu analogicznie do „doładowania" silników[10]. Wzrost ciśnienia jest tym większy im szybciej porusza się pojazd. W związku z tym we wlocie do układu dolotowego następują zmiany ciśnienia zależne od prędkości jazdy. Nie ma to istotnego[11] wpływu na regulację silnika przy zasilaniu benzyną. W przypadku zasilania LPG[12] sytuacja się zmienia.

Wydajność reduktora LPG jest zależna od różnicy ciśnień działających na przeponę II stopnia regulacji ciśnienia. Z jednej strony przepony działa ciśnienie atmosferyczne doprowadzone przez otwór kompensacyjny II stopnia regulacji, który jest zazwyczaj połączony z atmosferą (patrz rozdział o reduktorach), natomiast z drugiej – ciśnienie sterujące wywołane działaniem podciśnienia z układu dolotowego silnika. Oba ciśnienia mogą być zaburzone przez wpadający do komory silnika podczas jazdy strumień powietrza, który wywołuje zmiany ciśnienia wokół elementów silnika.

Na rys. 3.6 przedstawiono zależność wzrostu ciśnienia w układzie dolotowym silnika, mierzoną przed filtrem powietrza, od prędkości jazdy samochodu. Pomiar został wykonany dla chwytu powietrza w wykonaniu oryginalnym (wlot do przodu) oraz po zmianie miejsca poboru powietrza na osłonięte od naporu powietrza.

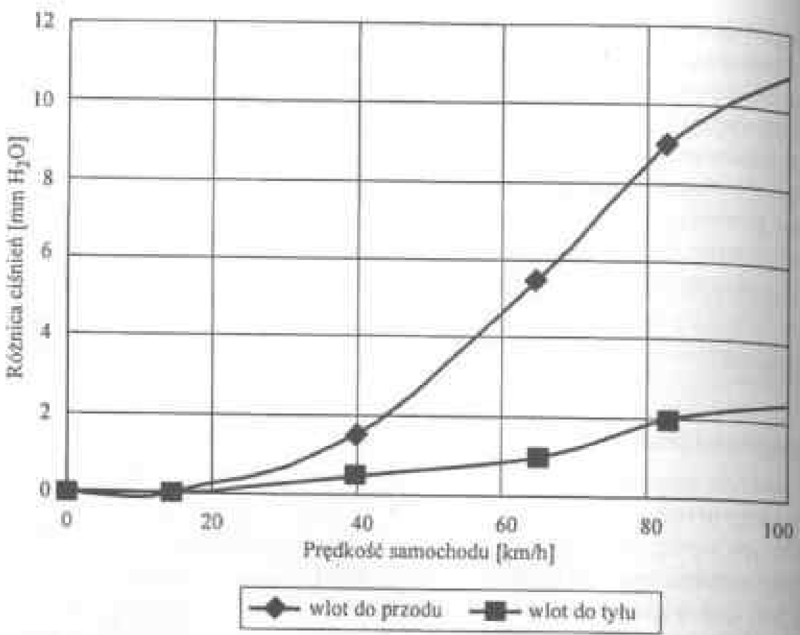
---

[9] Dla gaźnika zmiany podciśnienia na biegu jałowym mają znacznie mniejsze znaczenie.

[10] Chwyty powietrza są często umieszczane we wzmocnieniu przednim i skierowane w kierunku napływającego powietrza. Większość samochodów ma silniki umieszczone w przedniej części nadwozia. Samochody z silnikami z tyłu są mniej narażone na wpływ prędkości jazdy.

[11] Jeżeli silnik jest wyposażony w elektronicznie sterowany wtrysk benzyny, następuje pełna kompensacja wzrostu ciśnienia.

[12] W przypadku mieszalnikowego układu zasilania LPG.



Rys. 3.6. Wpływ prędkości jazdy na wzrost ciśnienia w układzie dolotowym na biegu jałowym silnika

Reduktor LPG jest montowany w komorze silnika, w której ciśnienie również zmienia się podczas zwiększania prędkości jazdy. Jeżeli wzrost prędkości jazdy powoduje różnicę ciśnienia między wlotem powietrza do układu dolotowego a ciśnieniem na otworze kompensacyjnym reduktora, to następuje zakłócenie sygnału sterującego wydajnością reduktora!

Wzrost ciśnienia na wlocie do układu dolotowego powoduje spadek podciśnienia w kolektorze dolotowym. Podciśnienie w układzie dolotowym spowodowane przepływem zasysanego powietrza rośnie ze zwiększaniem się prędkości przepływu, lecz dla małych prędkości przepływu, na przykład na biegu jałowym, wynosi kilka milimetrów słupa wody. Zakładając, że chwyt powietrza wyprowadzony jest do przodu, a ciśnienie na otworze kompensacyjnym reduktora zmienia się jak ciśnienie w osłoniętym miejscu, to jeżeli ciśnienie na biegu jałowym wynosi 2 mm H_2O mierzone na stojącym pojeździe, to zakłócenie wprowadzone przez napór aerodynamiczny uniemożliwi pracę silnika na biegu jałowym już przy prędkości ok. 40 km/h; natomiast jeżeli podciśnienie na biegu jałowym będzie wynosić 5 mm H_2O – to przy prędkości ok. 70 km/h. W eksploatacji problem ten objawia się gaśnięciem silnika jadącego samochodu po wyłączeniu biegu i jeździe rozpędem lub przy wciśnięciu sprzęgła podczas zmiany biegu.

Modyfikacja wlotu powietrza w taki sposób, że wlot powietrza kieruje się do tyłu samochodu, zmniejsza oddziaływanie prędkości jazdy na wydajność reduktora. Jednak dobranie dwóch punktów komory silnika, w których wpływ ciśnienia wywołanego jazdą samochodu jest identyczny i umieszczenie w nich wlotu powietrza oraz





Fot. 3.6. Oryginalne umieszczenie wlotu powietrza do układu dolotowego (zdjęcie górne) i po modyfikacji (zdjęcie dolne)
1 – kierunek przepływu powietrza przez układ dolotowy, 2 – kierunek napływu powietrza do komory silnika podczas jazdy

otworu kompensacyjnego reduktora (tylko tak można wyeliminować wpływ prędkości jazdy na pracę układu zasilania LPG) nie jest możliwe w warunkach warsztatowych.

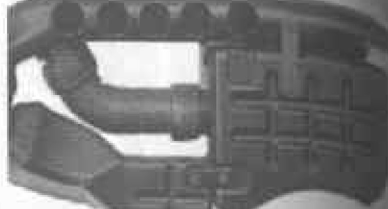
W praktyce stosowane są przeróbki wlotu powietrza do układu dolotowego, polegające na wyprowadzeniu chwytu powietrza w osłonięte miejsca komory silnika (fot. 3.6). Inną spotykaną metodą jest blokowanie oryginalnego wlotu powietrza lub wykonanie otworów wlotowych powietrza w osłoniętym od nadmuchu miejscu, na przykład w obudowie filtra powietrza lub w przewodzie doprowadzającym powietrze do filtra powietrza fot. 3.7 i 3.8.

Zdarza się, że rozkład ciśnień w komorze silnika powoduje nadmuch w otwór kompensacyjny reduktora. Dzieje się tak również wtedy, gdy reduktor zamontowany jest w strefie nadmuchu z wentylatora chłodnicy. W takiej sytuacji stosowane są kolanka dołączone do otworu kompensacyjnego, w celu znalezienia strefy ciśnienia mniej zakłócającej pracę reduktora.

Można stwierdzić, że wyżej opisane metody modyfikacji wlotu powietrza do silnika poprawiają działanie układu zasilania LPG w stopniu umożliwiającym eksploatację samochodu.



Fot. 3.7. Zablokowanie oryginalnego wlotu powietrza skierowanego do przodu samochodu [9]



Fot. 3.8. Wywiercone otwory do poboru powietrza w tylnej części elementu [9]

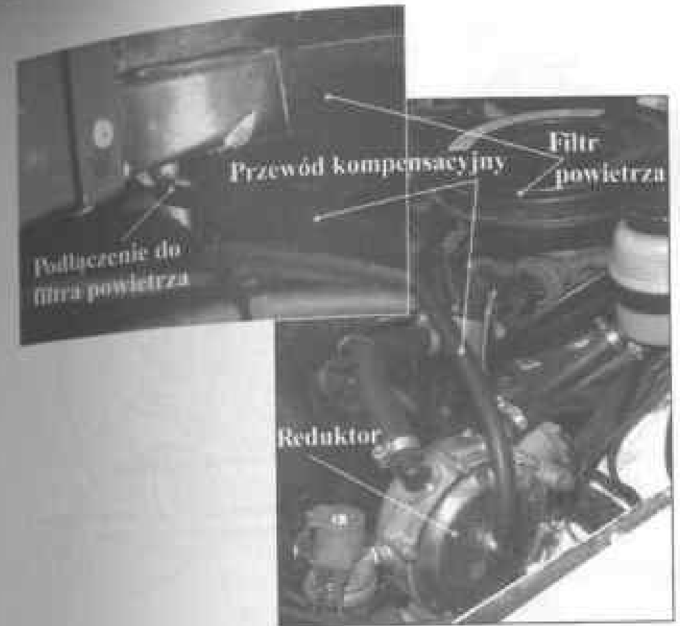


Fot. 3.9. Badanie wpływu prędkości nadmuchu powietrza na regulację składu mieszanki silników zasilanych LPG

Laboratorium badające emisję w Instytucie Transportu Samochodowego jest wyposażone w potężną dmuchawę, która nadaje strumieniowi powietrza prędkość ok. 100 km/h (fot. 3.9). Badając emisję gazów z układu wydechowego pochodzących z samochodu na stanowisku badawczym, można sprawdzić wpływ prędkości nadmuchiwanego powietrza na regulację składu mieszanki. Niezależnie od sposobu montażu instalacji LPG, w większości samochodów można stwierdzić wpływ prędkości nadmuchu powietrza na samochód na skład mieszanki LPG-powietrze. Wzrost ciśnienia na wlocie powietrza do układu dolotowego, w stosunku do otworu kompensacyjnego, zubaża mieszankę LPG-powietrze, natomiast wzrost ciśnienia w otworze kompensacyjnym powoduje jej wzbogacenie.

Dzialanie obwodu kompensacji ciśnienia

Rozwiązaniem eliminującym wpływ ciśnienia dynamicznego jest kompensacja ciśnienia w komorze II stopnia reduktora. Do wyeliminowania wpływu zmian różnicy ciśnień wywołanych prędkością jazdy wystarczy, aby wzrost lub spadek ciśnienia w układzie dolotowym jednakowo wpływał na ciśnienie po obu stronach przepony II stopnia regulacji ciśnienia w reduktorze. Służy temu połączenie przestrzeni kompensacyjnej reduktora z wybranym miejscem układu dolotowego.



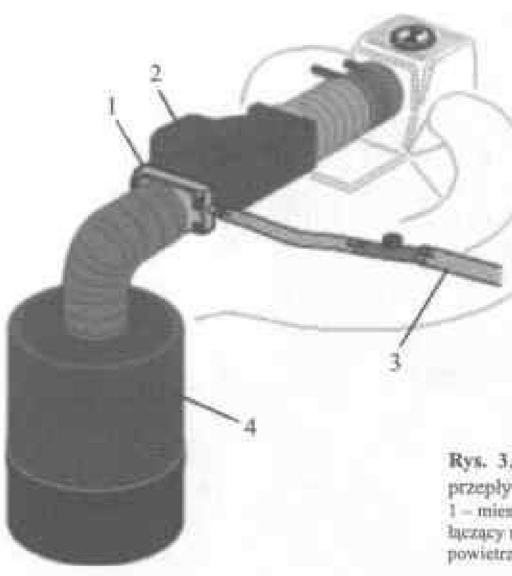
Fot. 3.10. Reduktor z wyprowadzonym przewodem kompensacji ciśnienia i sposób jego podłączenia do obudowy filtra powietrza
Nie należy mylić przewodu kompensacji ciśnienia z przewodem ciśnieniowym reduktorów podciśnieniowych, służących do blokowania wypływu LPG z reduktora przy braku ciśnienia w kolektorze dolotowym

W celu kompensacji wpływu ciśnienia wywołanego ruchem samochodu, optymalne jest wprowadzenie przewodu kompensacji ciśnienia do obudowy filtra powietrza po stronie ssącej. Montaż przewodu w tym miejscu niweluje również wpływ różnych długości przewodów powietrza oraz wpływ kryz założonych na wlocie powietrza (fot. 3.10). Jeżeli kryza jest niezbędna dla pracy układu zasilania LPG, to należy ją montować między miejscem wprowadzenia kompensacji, a mieszalnikiem.

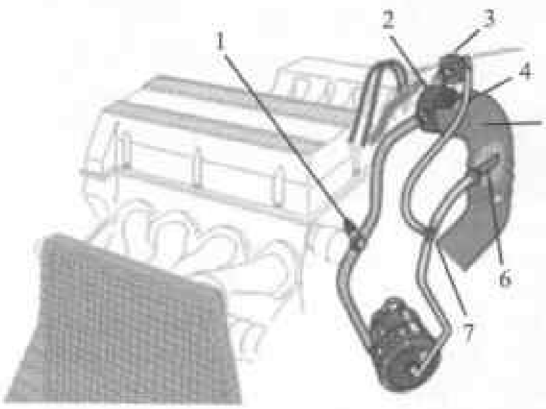
Układy dolotowe wyposażone w przepływomierze mechaniczne zmieniają opory przepływu między filtrem powietrza, a zespołem przepustnic. Stosowane są dwa przedstawione poniżej rozwiązania.

- Montaż mieszalnika przed przepływomierzem, czyli w obszarze, gdzie praca przepływomierza nie wpływa na podciśnienie w kolektorze dolotowym. Wadą tego rozwiązania w przypadku wystąpienia „strzału"[13] jest duża objętość układu dolotowego wypełnionego mieszanką LPG-powietrze, w tym przepływomierza (rys. 3.7).
- Montaż mieszalnika na zespole przepustnic, co lepiej zabezpiecza układ dolotowy przed skutkami „strzału" niż pierwsze rozwiązanie i wymaga zastosowania kompensacji ciśnienia wprowadzonego między przepływomierz a zespół przepustnic (rys. 3.8).

[13] Patrz rozdział 6.



Rys. 3.7. Położenie mieszalnika przed przepływomierzem [8]
1 – mieszalnik, 2 – przepływomierz, 3 – przewód gazowy łączący reduktor z mieszalnikiem, 4 – obudowa filtra powietrza

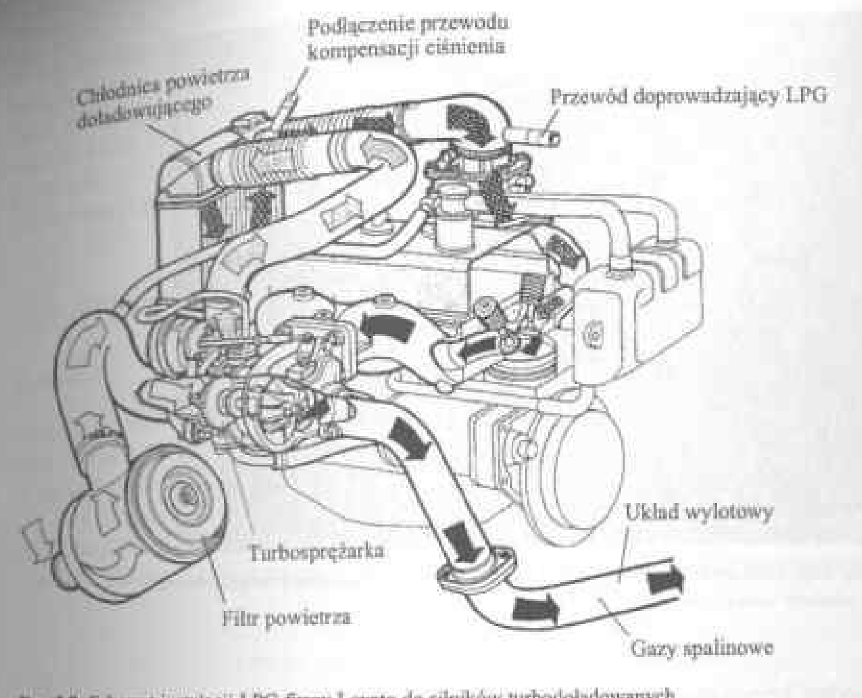


Rys. 3.8. Położenie mieszalnika w zespole przepustnic [8]
1 – przewód gazowy łączący reduktor z mieszalnikiem, 2 – zespół przepustnic, 3 – reduktor z siłownikiem, 4, 6, 7 – elementy obwodu kompensacji ciśnienia, 5 – rura dolotowa

Wprowadzenie kompensacji ciśnienia między filtr powietrza a zespół przepustnic, zmniejsza wpływ zmian oporów przepływu w filtrze powietrza w czasie eksploatacji. Powoduje to jednak spadek różnicy ciśnień między mieszalnikiem a miejscem wprowadzenia kompensacji, o straty ciśnienia w filtrze powietrza. Rezultatem tego jest konieczność kryzowania bądź zmiana mieszalnika palnikowego na mieszalnik o mniejszej średnicy zwężki.

Silniki doładowane

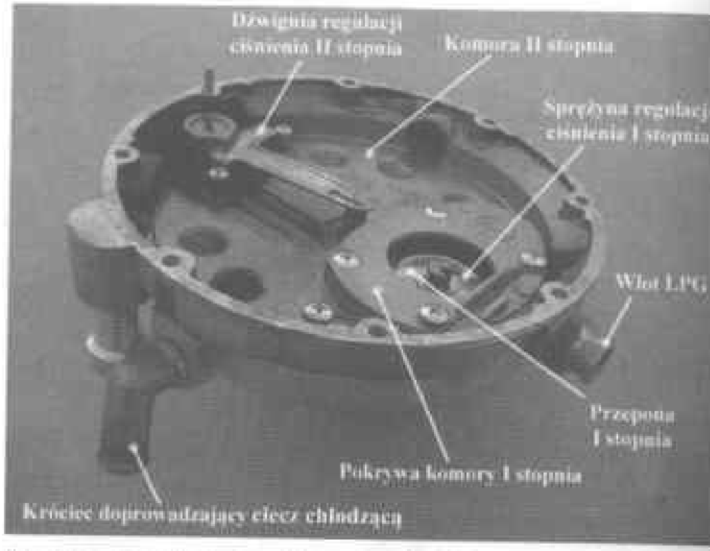
Doładowanie silnika polega na użyciu urządzeń podnoszących ciśnienie w układzie dolotowym. Ma to na celu podwyższenie stopnia napełnienia cylindra mieszanką paliwowo-powietrzną powyżej wartości możliwej do osiągnięcia w układach wolnossących, co umożliwia spalenie większej ilości paliwa i osiągnięcie wyższej mocy silnika. Układy mieszalnikowe działają dzięki wytworzeniu różnicy ciśnień po obu stronach przepony II stopnia regulacji, a paliwo LPG wpływa do układu dolotowego silnika na skutek różnicy ciśnień. Jeżeli układ zasilania LPG w wykonaniu przeznaczonym do silnika wolnossącego jest montowany do silnika doładowanego, paliwo nie może być zassane do układu dolotowego silnika, ponieważ panuje w nim nadciśnienie. W takim przypadku niezbędne jest zastosowanie reduktora pracującego w pętli kompensacji ciśnienia.



Rys. 3.9. Schemat instalacji LPG firmy Lovato do silników turbodoładowanych

Produkowane są reduktory z kompensacją w obu stopniach redukcji. Wzrost ciśnienia w układzie dolotowym powoduje wzrost ciśnienia w komorze II stopnia reduktora, o wartość wzrostu ciśnienia w układzie dolotowym w miejscu dołączenia kompensacji. Komory kompensacyjne obu stopni redukcji ciśnienia są ze sobą połączone, co powoduje wzrost ciśnienia na obu stopniach reduktora o stałą wartość (kompensacji). Różnica ciśnień między komorami I i II nie jest zmieniona, zatem charakterystyka reduktora pozostaje niezmieniona niezależnie od ciśnienia w układzie dolotowym.

Stosowane są również reduktory z kompensacją tylko II stopnia. W tym przypadku wzrost ciśnienia doładowania powoduje podwyższenie ciśnienia w II stopniu regulacji, natomiast ciśnienie w I stopniu pozostaje bez zmian. Różnica ciśnień



Fot. 3.11. Komora II stopnia reduktora firmy Landi Renzo przeznaczonego również do silników doładowanych

między komorami reduktora, czyli na zaworze II stopnia regulacji, powoduje zmianę charakterystyki reduktora, tym większą, im większe jest ciśnienie doładowania.

Istnieją rozwiązania reduktorów, w których przepona I stopnia jest montowana w komorze II stopnia. W ten sposób komora II stopnia w naturalny sposób pełni rolę komory kompensacyjnej I stopnia regulacji, bez dodatkowego wyposażenia (fot. 3.11).



Fot. 3.12. Mieszalniki z przesłonkami

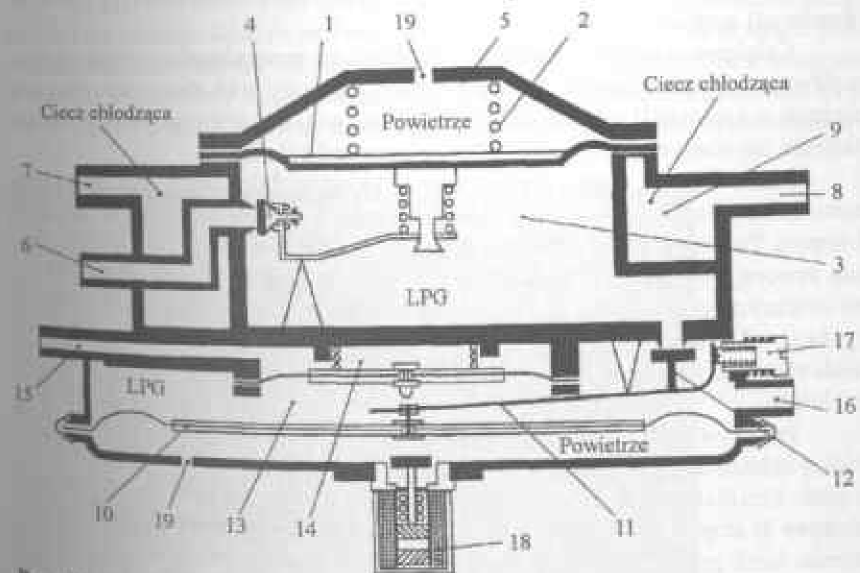
Kompensacja w układzie doładowanym jest wprowadzana do przestrzeni za turbosprężarką, zatem cała różnica ciśnień niezbędnych do sterowania mieszalnikiem musi być wytworzona na mieszalniku. Dla zapewnienia niezbędnej różnicy ciśnień, która jest najniższa przy prędkości obrotowej biegu jałowego, stosuje się przesłonki, zwane kryzami (fot. 3.12), które zamykają się tylko na biegu jałowym, a otwierają przy zwiększeniu prędkości przepływu powietrza przez układ dolotowy.

3.1.3. Elementy układu zasilania LPG I generacji

Reduktor

Zadaniem reduktora jest zmiana stanu skupienia paliwa LPG z ciekłego w gazowy oraz utrzymywanie stabilnej charakterystyki objętościowego natężenia przepływu, w funkcji podciśnienia w komorze II stopnia.

Urządzenia te produkowane są z reguły jako reduktory dwustopniowe. Pierwszy stopień reduktora wykorzystywany jest jako parownik, w którym zachodzi przejście LPG z fazy ciekłej w gazową. Każdy z dwóch stopni reduktora jest wyposażony



Rys. 3.10. Schemat reduktora
1 – przepona komory I stopnia, 2 – sprężyna zespołu zaworu I stopnia, 3 – komora I stopnia, 4 – zawór I stopnia, 5 – pokrywa komory I stopnia, 6 – króciec dolotowy LPG, 7 – króciec dolotowy cieczy chłodzącej, 8 – króciec wylotowy płynu chłodzącego, 9 – płaszcz cieczowy, 10 – przepona komory II stopnia, 11 – dźwignia zespołu regulacji II stopnia, 12 – zawór II stopnia, 13 – komora II stopnia, 14 – komora podciśnieniowa blokowania wypływu gazu przy braku podciśnienia w kolektorze dolotowym, 15 – króciec podciśnienia dołączony do kolektora dolotowego, 16 – króciec wylotowy gazu, 17 – śruba regulacyjna napięcia wstępnego sprężyny zespołu regulacji II stopnia, 18 – elektromagnes siłownika układu rozruchowego, 19 – otwory kompensacyjne

w przeponę związaną z dźwignią sterującą zaworem. Wzrost ciśnienia w każdej z komór pokonuje napięcie sprężyny i powoduje nacisk na przeponę oraz związaną z nią dźwignię zaworu, przez co następuje zatrzymanie wypływu paliwa.

Opis działania reduktora

W czasie gdy silnik pojazdu nie pracuje, zawór odcinający uniemożliwia przepływ LPG ze zbiornika do reduktora. W komorze I stopnia reduktora ciśnienie jest na tyle niskie, że zawór I stopnia pozostaje otwarty (pod wpływem działającej na niego siły sprężyny). Po uruchomieniu silnika lub przełączeniu na zasilanie gazem następuje otwarcie zaworu odcinającego. Paliwo LPG znajdujące się w fazie ciekłej pod ciśnieniem panującym w zbiorniku wpływa do komory parownika, rozprężając się i gwałtownie pobierając ciepło ze ścianek komory. Odparowane paliwo LPG, już w fazie gazowej (częściowo lub całkowicie) zwiększa ciśnienie w komorze pierwszego stopnia i wywiera nacisk na przeponę pierwszego stopnia, co powoduje przezwyciężenie siły sprężyny i poprzez dźwigienkę zamknięcie zaworu I stopnia. Zawór I stopnia zacznie się powtórnie otwierać w momencie, gdy układ regulacji II stopnia spowoduje wypływ części gazu z komory I stopnia i przez to zmniejszenie panującego w niej ciśnienia.

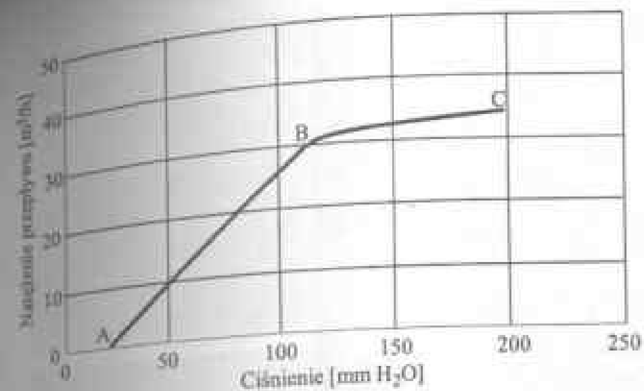
Na przeponę I stopnia regulacji działa zatem siła sprężyny i ciśnienie w komorze I stopnia, natomiast na przeciwną stronę przepony działa również ciśnienie z komory II stopnia.

Ciśnienie w komorze I stopnia jest określone przez charakterystykę sprężyny dźwigni zaworu I stopnia, średnicę czynną przepony oraz dla części reduktorów ciśnienie w komorze II stopnia. Celem takiego rozwiązania jest zapewnienie stałego ciśnienia lub stałej różnicy ciśnień między komorą I i II stopnia.

Podczas pracy silnika podciśnienie w układzie dolotowym oraz na zwężce mieszalnika powoduje „wysysanie" gazu i przez to spadek ciśnienia w komorze II stopnia. Zmniejszenie siły działającej na przeponę II stopnia, a przez to i na dźwignię zaworu, powoduje otwieranie się zaworu II stopnia. Wielkość jego otwarcia jest zależny od podciśnienia panującego w komorze II stopnia. Przepona II stopnia regulacji, od strony komory styka się z LPG, natomiast na drugą stronę przepony działa ciśnienie występujące na otworze kompensacyjnym wykonanym w pokrywie reduktora.

Przepływ LPG w postaci gazowej przez zawór II stopnia jest zależny od różnicy ciśnień między komorami I i II stopnia oraz od wielkości otwarcia zaworu II stopnia. Przebieg charakterystyki reduktora (rys. 3.11) zależy od charakterystyki sprężyny II stopnia, wymiarów dźwigni II stopnia oraz powierzchni przepony II stopnia. Jeżeli przyjąć, że w komorze I stopnia oraz na otworze kompensacyjnym II stopnia panuje stałe ciśnienie, to wydajność liczona objętością LPG w postaci gazowej w czasie (m^3/h), jest sterowana wyłącznie podciśnieniem w komorze II stopnia.

Maksymalną wydajność objętościową reduktora limituje ogranicznik otwarcia zaworu II stopnia (fot. 3.13). Jego działanie polega na ograniczaniu możliwości dalszego przemieszczania się przepony II stopnia. Rolę ograniczników w reduktorze przedstawionym na fot. 3.13 spełniają 3 nadlewy, o które opiera się przepona II



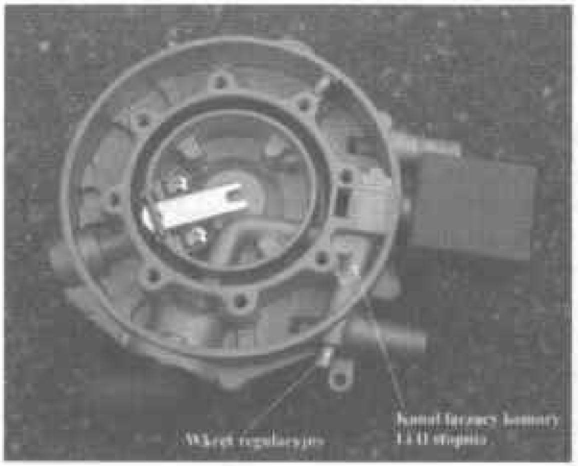
Rys. 3.11. Przykładowa charakterystyka reduktora

stopnia. Do tego momentu reduktor pracuje w zakresie AB charakterystyki, natomiast po zadziałaniu ogranicznika – w zakresie BC (rys. 3.11). Zakres pracy AB jest zatem wykorzystywany w pracy układu zasilania LPG. Zakres BC charakterystyki ma znaczenie wyłącznie teoretyczne.

Reduktor przeznaczony do zastosowania w samochodach z silnikami gaźnikowymi ma również układ rozruchowy. Działanie tego układu jest następujące: podczas uruchamiania silnika na paliwie LPG, w momencie przekręcenia kluczyka w stacyjce w położenie włączenia zapłonu następuje otwarcie elektrozaworu LPG zamontowanego przed reduktorem (oczywiście jeżeli przełącznik wyboru paliwa



Fot. 3.13. Mechanizm regulacji biegu jałowego



Fot. 3.14. Regulacja biegu jałowego za pomocą kanału łączącego komory I i II stopnia

znajduje się w położeniu „gaz"). Wtedy do komory I stopnia reduktora przez otwarty zawór I stopnia (4, rys. 3.10) wpływa LPG. Elektromagnes siłownika układu rozruchowego (18) naciska na przeponę komory II stopnia (10), otwierając zawór II stopnia (12), przez który LPG przepływa do kolektora dolotowego.

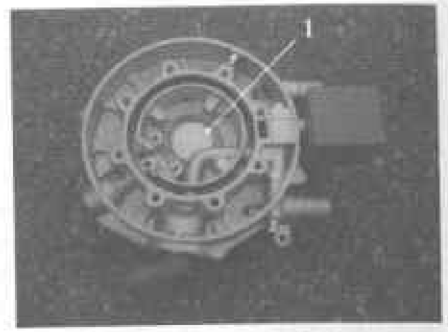
Reduktor umożliwia regulację biegu jałowego (fot. 3.13) przez zmianę napięcia wstępnego sprężyny zespołu zaworu II stopnia. Realizuje się to poprzez wkręcanie lub wykręcanie wkrętu regulacyjnego. Dzięki temu modyfikuje się charakterystykę regulacyjną reduktora i dostosowuje wydajność reduktora niezbędną do właściwej pracy silnika na biegu jałowym, do podciśnienia wywołanego w komorze II stopnia reduktora na biegu jałowym.

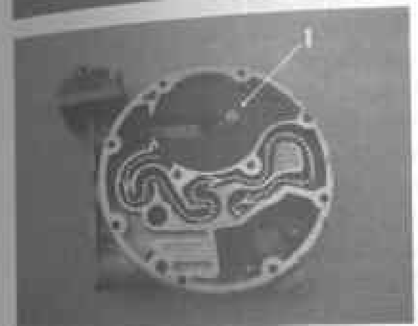
Innym rozwiązaniem jest zastosowanie bezpośredniego połączenia komór I i II stopnia za pomocą kanału (fot. 3.14). Wypływ gazu jest spowodowany różnicą ciśnień między I i II komorą reduktora, czyli pod stałym ciśnieniem niezależnie od pracy układu regulacji II stopnia. W tym przypadku wypływ LPG z reduktora do układu dolotowego silnika następuje po otwarciu dopływu LPG do reduktora i wzroście ciśnienia w komorze I stopnia.

Pomimo wykorzystywania tej samej zasady działania, reduktory różnią się pod względem istotnych szczegółów konstrukcyjnych. Na fot. 3.15 przedstawiono komory pierwszego stopnia, odpowiedzialne za ogrzanie parującego LPG. Komory te różnią się powierzchnią oddawania ciepła – od najprostszych, o niewielkiej powierzchni, po konstrukcje o wielokrotnie większej powierzchni przejmowania ciepła. Komory zostały oznaczone cyfrą *1* (na górnym zdjęciu z lewej strony komora znajduje się pod pokrywą oznaczoną cyfrą *1*; linią przerywaną na dolnej fotografii oznaczono drogę przepływu LPG do komory II stopnia).

Różnice te mają istotny wpływ na działanie reduktora. Komora I stopnia jest ogrzewana za pomocą cieczy chłodzącej silnik. Ścianki komory I stopnia są jednocześnie ściankami przestrzeni cieczowej, która jest ukształtowana w celu jak najlepszego przejmowania ciepła z przepływającej przez reduktor podczas pracy silnika







Fot. 3.15. Komory I stopnia różnych reduktorów

cieczy z układu chłodzenia silnika. Wielkość powierzchni ścianek komory I stopnia decyduje o możliwościach przekazywania ciepła od cieczy chłodzącej[14] do LPG, a zatem o minimalnej temperaturze reduktora, przy której zachodzi pełne odparowanie LPG w komorze I stopnia, jak również o stabilności temperatury paliwa LPG w fazie gazowej podczas normalnej pracy reduktora. Średnica przepony II stopnia jest odpowiedzialna za wartość siły służącej do regulacji otwarcia zaworu II stopnia, zatem im większa jest jej średnica, tym siła do regulacji większa. Ma to istotny wpływ na precyzję sterowania w układzie niskociśnieniowym, a w szczególności na precyzję i powtarzalność składu mieszanki na biegu jałowym. Natomiast wielkość komór I i II stopnia wpływa na wahania ciśnienia, które są tym mniejsze im większe są komory reduktora.

Zatem im reduktor jest większy tym łatwiej jest osiągnąć dobre parametry użytkowe: niskie wahania ciśnienia na obu stopniach regulacji ciśnienia, stabilne parametry regulacyjne, ochronę przed niecałkowitym odparowaniem paliwa LPG w komorze I stopnia oraz reakcję reduktora na szybko zmieniające się zapotrzebowanie silnika na paliwo LPG.

[14] Nazwa może wprowadzać w błąd. Ciecz chłodząca ma za zadanie odbierać ciepło od silnika. Temperatura cieczy w trakcie pracy silnika waha się w granicach 95...110°C. Dzięki temu jest możliwe odbieranie od cieczy chłodzącej zawartego w niej ciepła, które wykorzystywane jest w procesie parowania LPG. Ciecz chłodząca jest zatem „czynnikiem grzewczym" dla reduktora LPG.

Pomimo zalet dużych reduktorów, coraz częściej spotyka się konstrukcje kompaktowe. Jest to spowodowane koniecznością montażu reduktorów w coraz bardziej wypełnionych komorach silników. Trudniej jest jednak skonstruować mały, trwały, dobrze działający reduktor niż duży o takiej samej charakterystyce.

Reduktor jest przystosowany do zasilania paliwem LPG w postaci ciekłej, a przejście do fazy gazowej następuje w komorze I stopnia. Jednak, jak wynika z konstrukcji reduktora, nie jest konieczne by był zasilany jedynie fazą ciekłą. Reduktor może pracować również przy zasilaniu fazą gazową pod warunkiem, aby była ona pod ciśnieniem zapewniającym wystarczająco duży przepływ przez zawór I stopnia regulacji. Zatem nagrzanie się przewodu dostarczającego LPG w postaci ciekłej do parownika i przejście części paliwa LPG w fazę gazową, nie wpływa na pracę układu zasilania pod warunkiem, że zachowany zostanie wystarczający przepływ gazu do zasilania silnika. Paliwo LPG jest dostarczane do parownika przewodem o średnicy wewnętrznej 4 mm. Jest to średnica zapewniająca wystarczający przepływ LPG w postaci ciekłej pod ciśnieniem występującym w zbiorniku paliwa gazowego (poza przypadkiem wystąpienia ekstremalnie niskich temperatur). Jeżeli przez ten sam przewód będzie przetaczane paliwo LPG w postaci gazowej, którego objętość jest kilkudziesięciokrotnie większa niż ta sama masa LPG w postaci ciekłej, to prędkość przepływu w przewodzie zasilającym powinna wzrosnąć proporcjonalnie, przy tych samych parametrach pracy silnika. Może to powodować zmniejszenie natężenia przepływu paliwa przez przewód zasilający.

Wyżej opisany efekt występuje, gdy w zbiorniku paliwa gazowego kończy się paliwo. Coraz większy udział fazy gazowej LPG nie powoduje natychmiastowego zatrzymania silnika, lecz ograniczenie jego mocy.

Reduktor zimny

W przypadku uruchamiania zimnego silnika przy zasilaniu LPG, reduktor także jest zimny. Paliwo LPG parując w komorze I stopnia odprowadza z niej ciepło. Jeżeli ścianki komory I stopnia nie oddadzą wystarczająco dużo ciepła dla całkowitego odparowania ciekłej fazy LPG, temperatura w komorze jest w przybliżeniu równa temperaturze parowania LPG. Zawór II stopnia otwierając się powoduje przepływ LPG nie w pełni odparowanego, a zatem częściowo w postaci ciekłej. Dalsze odparowywanie LPG następuje zatem w komorze II stopnia, a nawet w przewodzie LPG.

Przepływ LPG przez zawór II stopnia w postaci ciekłej zakłóca proces regulacji, ponieważ charakterystyka reduktora została ustalona przy założeniu, że przez zawór II stopnia przepływa LPG w fazie gazowej. W rezultacie reduktor zmienia swą charakterystykę – zwiększa wydatek gazu w funkcji podciśnienia, a sterowanie układu oparte na stabilnej charakterystyce parownika przestaje funkcjonować. Efektem jest wzbogacenie mieszanki paliwowo-powietrznej dostarczanej do silnika.

Po nagrzaniu silnika trudności z regulacją składu mieszanki paliwowo-powietrznej mijają. W przypadku samochodu wyposażonego w reaktor katalityczny (katalizator), obecność dużej ilości węglowodorów w gazach spalinowych może mieć niekorzystny wpływ na trwałość reaktora.

Innym mogącym wystąpić zjawiskiem jest wychłodzenie reduktora oraz przepony II stopnia. Przepona I stopnia jest przystosowana do pracy w warunkach występowania szoków termicznych, lecz przepona II stopnia jest o wiele delikatniejsza. Doświadczenia eksploatacyjne użytkowników – szczególnie samochodów z silnikami gaźnikowymi – dowodzą jednak, że wielokrotne uruchamianie samochodu „na gazie" nie powoduje zniszczenia reduktora.

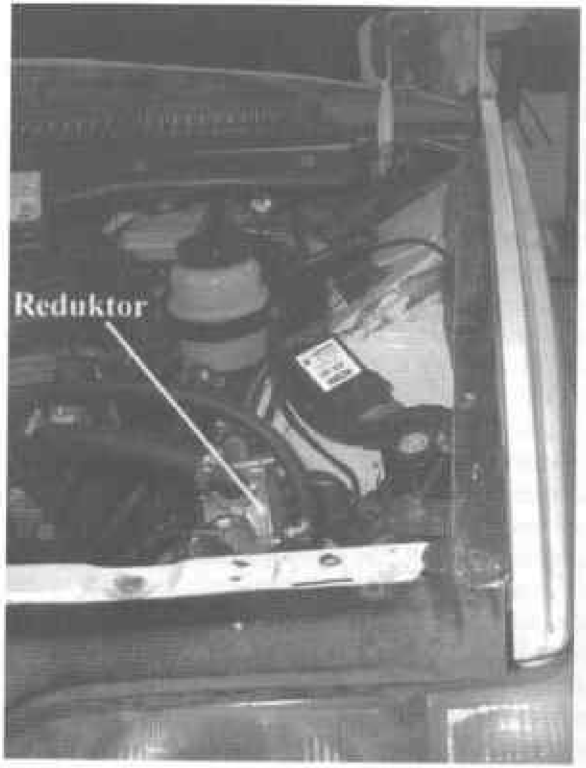
Identyczny efekt wychłodzenia reduktora może wystąpić w przypadku, gdy nie ma wystarczającego przepływu cieczy z układu chłodzenia silnika przez reduktor. W tym przypadku wzbogacenie mieszanki paliwowo-powietrznej może wystąpić tylko w szczególnych stanach pracy silnika, np. duży wydatek reduktora powodujący intensywne wychładzanie. W skrajnych przypadkach można spotkać się z oszronionymi reduktorami.

Zasady montażu reduktora

Zalecenia dotyczące montażu reduktora są wzajemnie sprzeczne, a czasami niemożliwe do spełnienia. Bez mała każdy sposób umieszczenia jest dyskusyjny. Poniżej podano podstawowe zasady montażu.

1. Reduktor powinien być zamontowany tak, aby przepony znalazły się w pozycji pionowej, równolegle do kierunku jazdy (fot. 3.16).
2. Przewody doprowadzające ciecz chłodzącą do reduktora powinny być wpięte w „mały obieg" układu chłodzenia, w punktach charakteryzujących się dużą różnicą ciśnień.
3. Najwyższy punkt reduktora, w którym znajduje się ciecz chłodząca, powinien znajdować się poniżej jej poziomu w zbiorniczku wyrównawczym.
4. Powinien być zamontowany możliwie blisko mieszalnika.
5. Powinien być zamontowany możliwie daleko od gorących elementów silnika (zwłaszcza od kolektora wylotowego).
6. Nie powinien stykać się z instalacją zapłonową, a w szczególności z jej częścią o wysokim napięciu.
7. Powinien być zamontowany w taki sposób, aby w czasie przeglądu technicznego możliwe było sprawdzenie szczelności połączeń i reduktora.
8. Miejsce montażu powinno umożliwiać dostęp do elementów regulacyjnych, w tym spustu kondensatu, regulacji biegu jałowego.
9. Powinien być zamontowany w takim miejscu, żeby w czasie regulacji nie powodować zagrożenia dla przeprowadzającego regulacje, tzn. z dala od pasków transmisyjnych, wentylatorów, itp.
10. Nie powinien utrudniać dostępu do elementów silnika pojazdu podlegających okresowym przeglądom i regulacji.
11. Powinien być zamontowany możliwie z dala od strefy zgniotu.
12. Sposób montażu powinien wykazywać minimum ingerencji w samochód.
13. Miejsce zamontowania powinno być osłonięte od wiatru.

Wymaganie, aby reduktor był zamontowany równolegle do osi podłużnej samochodu wynika z jego reakcji na przyspieszenia. Przyspieszenie oddziaływujące na reduktor powoduje dodawanie się siły bezwładności przepony i jej dźwigni,



Fot. 3.16. Reduktor zamontowany równolegle do osi samochodu

do siły regulującej wydatek reduktora, zatem na przykład na lewym zakręcie reduktor będzie zwiększał wydatek paliwa LPG, a na prawym zmniejszał. Ustawienie jest wyborem mniejszego zła – montaż prostopadle do osi samochodu powodowałby identyczną reakcję na przyspieszanie i hamowanie samochodu, a równolegle do jezdni – zmianę wydajności na nierównościach drogi. Jak z tego wynika, przy formułowaniu powyższego zalecenia wzięto pod uwagę fakt, że przyspieszenia podczas skręcania pojazdu są mniejsze niż podczas hamowania.

Reduktor powinien nagrzewać się najszybciej jak jest to możliwe, zatem niezbędne jest dołączenie króćców reduktora do instalacji chłodzenia pojazdu (silniki chłodzone powietrzem opisane są oddzielnie) w miejscu, gdzie ciecz nagrzewa się najszybciej. Dla zapewnienia odpowiedniego przepływu cieczy chłodzącej silnik przez reduktor, należy wybrać punkty o możliwie największej różnicy ciśnień. Optymalnie jest włączyć się do „małego" obiegu przy pompie cieczy chłodzącej. Przeważnie wykorzystywane są do tego przewody nagrzewnicy.

Reduktor powinien być zamontowany w ten sposób, aby cała przestrzeń cieczowa znajdowała się poniżej poziomu cieczy w układzie chłodzenia silnika. Jeżeli reduktor zamontowany jest wysoko, istnieje możliwość, że pompa cieczy chłodzącej nie będzie zdolna do wypchnięcia powietrza z przestrzeni cieczowej reduktora. W tym przypadku mogą zaistnieć problemy z jego ogrzewaniem. Sprawdzić to można



Fot. 3.17. Reduktor zamontowany w komorze silnika o dużej wolnej przestrzeni

na po nagrzaniu silnika – jeżeli obudowa reduktora jest zimna lub, co gorsze, oszroniona, występuje problem z grzaniem. Jeżeli oba przewody cieczy są gorące, można uznać że ogrzewanie działa poprawnie.

Możliwie blisko mieszalnika – korzystne jest, aby reduktor był zamontowany możliwie blisko mieszalnika, szczególnie w układach zasilania ze sterownikiem elektronicznym i silnikiem krokowym. Jest to istotne dla szybkości regulacji układu zasilania LPG w fazach nieustalonych (szybkie otwarcie lub zamknięcie przepustnicy powiązane ze zmianą prędkości obrotowej silnika i jego obciążenia).

Postulaty, aby elementy układu zasilania LPG były możliwie daleko od kolektorów wylotowych silników spalinowych oraz instalacji zapłonowych nie wymagają komentarza.

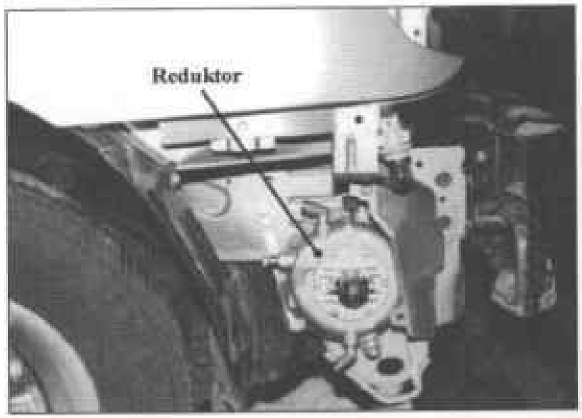
Punkty 7 do 10 są łatwe do spełnienia w samochodach mających obszerną komorę silnika. Było to typowe dla samochodów z silnikami gaźnikowymi o prostej konstrukcji (fot. 3.17).

Współczesne samochody, szczególnie wyższej klasy, mają komorę silnika szczelnie zapełnioną przez zespół napędowy, przez co brak miejsca na parownik, nawet w wykonaniu kompaktowym. W takim przypadku stosuje się kilka metod.

Pierwszą z nich jest przeniesienie akumulatora (jeżeli jest w komorze silnika) w inne miejsce i zamontowanie w jego miejsce parownika. Nie powoduje to zakłóceń w poprawnym działaniu samochodu.

Drugą metodą jest zmiana miejsca zamontowania innych elementów, np. zbiorniczka oleju do wspomagania układu kierowniczego. Z takimi przeróbkami należy być ostrożnym i mieć wiedzę na temat działania elementów, które się modyfikuje. Nieumiejętnie wykonane, mogą być przyczyną kłopotów technicznych, a na pewno będą powodem wymiany poglądów pomiędzy wykonującym montaż instalacji, a serwisem danej marki samochodu.

Montaż reduktora w nadkolu lub pod zderzakiem powoduje (fot. 3.18), że brak jest dostępu serwisowego, a co gorsze nie ma możliwości sprawdzenia stanu miejsc połączeń elementów układu zasilania LPG z przewodami. Jest to wymagane



Fot. 3.18. Reduktor zamontowany po prawej stronie samochodu pod osłoną zderzaka

podczas przeglądu okresowego na stacji kontroli pojazdów, a diagnosta ma prawo żądać od właściciela pojazdu umożliwienia przeprowadzenia kontroli – w tym przypadku zdjęcia zderzaka lub nadkola. Konieczność ingerencji serwisowej w układ zasilania LPG można ograniczyć, stosując reduktor o regulacji biegu jałowego za pomocą elektronicznego sterownika układu LPG. Pozostaje jednak jeszcze spust kondensatu z komory II stopnia. W zależności od jakości gazu można przejechać dziesiątki lub setki tysięcy kilometrów bez konieczności spustu kondensatu lub być do tego zmuszonym po kilku miesiącach użytkowania samochodu.

Możliwy jest wpływ wiatru na dwa parametry pracy. Wpływ ciśnienia na otworze kompensacyjnym na charakterystykę reduktora wynika z konstrukcji reduktora. Wywarcie dodatkowego nacisku na przeponę II stopnia reduktora spowoduje przesunięcie się charakterystyki reduktora. W komorze silnika rozkład ciśnienia nie jest znany. Montaż reduktora i położenie otworu kompensacyjnego jest z reguły wynikiem kompromisu. Jeżeli występuje wpływ prędkości samochodu na pracę układu zasilania LPG, należy do otworu kompensacyjnego dołączyć przewód wyprowadzony w miejsce, gdzie nie występują lub występują w mniejszym stopniu zmiany ciśnienia. Nie dotyczy to reduktora mającego obwód kompensacji.

Wpływ wychłodzenia reduktora na temperaturę obudowy. Spotykanym elementem układu zasilania LPG jest czujnik temperatury obudowy reduktora. Przełączanie zasilania z benzyny na LPG jest uzależniane od temperatury czujnika zamontowanego na reduktorze. Silny strumień powietrza o niskiej temperaturze (szczególnie zimą) jest w stanie wychłodzić czujnik temperatury w stopniu uniemożliwiającym przełączenie zasilania z benzyny na LPG lub w samochodzie zasilanym LPG przełączenie zasilania na benzynę. W niektórych zainstalowanych układach zasilania LPG, przy zbiegu kilku niesprzyjających okoliczności może wystąpić niedogrzanie reduktora.

Nie należy montować reduktora pod wlotami powietrza np. do chłodzenia hamulców. Ponadto ryzykownym zabiegiem jest pogorszenie chłodzenia hamulca jednego z kół osi przedniej.

Mieszalniki

Mieszalnikami nazywa się elementy wprowadzające paliwo LPG w fazie gazowej do układu dolotowego silnika. Połączenie komory reduktora z układem dolotowym silnika przez mieszalnik ma zadanie wytworzenia różnicy ciśnień na przeponie II stopnia reduktora, niezbędnej do sterowania natężeniem wypływu LPG.

Rozwiązania konstrukcyjne mieszalników dostosowane są do warunków zabudowy, ale zasada działania jest jednakowa dla wszystkich. Mieszalniki wykorzystują zmiany ciśnienia w układzie dolotowym bądź też wywołują je, dzięki zmianie wolnego przekroju przewodu, przez który przepływa powietrze w układzie dolotowym silnika.

Stosowane są mieszalniki firmowe oraz produkcji rzemieślniczej. Użycie mieszalnika produkowanego przez renomowanego producenta pozwala sądzić, że jest prawidłowo zaprojektowany jak również sprawdzony w eksploatacji, a zastosowanie się do instrukcji montażu pozwoli zbliżyć się do parametrów optymalnych, bez ryzyka wystąpienia problemów w trakcie użytkowania układu zasilania LPG.

Nie zawsze jednak w ofercie producenta znajduje się mieszalnik do danego typu silnika. Również niewielkie zmiany konstrukcyjne układu dolotowego, nie uwzględnione w danych wytwórcy mieszalnika, mogą uniemożliwić jego zastosowanie. Dotyczy to w głównej mierze mieszalników montowanych bezpośrednio do elementów układu dolotowego. Ponadto firmowy mieszalnik jest wyraźnie droższy od krajowego odpowiednika. Stosowane są zatem powszechnie mieszalniki produkcji krajowej.

Mieszalnik powinien zapewniać dobre mieszanie się LPG z powietrzem. Twierdzenie, że LPG w postaci gazowej miesza się z powietrzem od razu w mieszalniku dzięki temu, że oba czynniki są w fazie gazowej, nie jest ścisłe, ponieważ proces mieszania jest rozciągnięty w czasie. Mieszanie się paliwa z powietrzem ma wpływ na skład mieszanki paliwowo-powietrznej dostarczanej do cylindrów. Układy dolotowe silników gaźnikowych oraz silników wyposażonych we wtrysk jednopunktowy były opracowywane pod względem zapewnienia właściwego rozdziału



Fot. 3.19. Niesymetryczny kolektor dolotowy



Fot. 3.20. Świece zapłonowe wymontowane z silnika o niesymetrycznym kolektorze dolotowym

paliwa do każdego odgałęzienia kolektora dolotowego, co sprawdza się w układach mieszalnikowych LPG. W układach wielopunktowego wytrysku benzyny istotnym parametrem jest jedynie zapewnienie właściwego spadku ciśnienia na każdym odgałęzieniu kolektora dolotowego. Umożliwiło to konstruowanie niesymetrycznych kolektorów dolotowych, takich jak przedstawiony na fot. 3.19.

Dla silnika, którego kolektor dolotowy przedstawiono na fot. 3.19 przeprowadzono obliczenia czasu mieszania w funkcji prędkości obrotowej. Za czas mieszania przyjęto czas, w którym mieszanka przepływa od mieszalnika do zaworu dolotowego. Rozważano trzy warunki pracy silnika: bieg jałowy (I), typowe warunki pracy silnika z prędkością obrotową 2500 obr/min (II) oraz rozwijanie pełnego momentu obrotowego przez silnik przy prędkości obrotowej 5000 obr/min (III).

Średnica wewnętrzna przewodu ssącego między filtrem powietrza a przepustnicą wynosi ok. 60 mm, pojemność skokowa silnika 1600 cm³, a odległość od mieszalnika do pierwszego odgałęzienia kolektora dolotowego – 12 cm. Wyniki obliczeń zamieszczono w tabeli 3.2.

W zakresie małych obciążeń, mieszanka paliwowo-powietrzna LPG napotyka na drodze do silnika przepustnicę, która wspomaga proces mieszania się składników.

Tabela 3.2

Minimalny czas mieszania

Warunki pracy silnika	I	II	III
prędkość obrotowa silnika [obr/min]	750	2500	5000
napełnienie [%]	35	50	90
natężenie przepływu powietrza [m³/h]	12,6	60	216
średnia prędkość przepływu powietrza [m/s]	1,2	5,9	21,2
minimalny czas mieszania [s]	0,1	0,02	0,0055

ków. Jeżeli przepustnica jest otwarta a prędkość przepływu czynnika duża, to czas skraca się do setnych i tysięcznych części sekundy, co nie wystarcza do właściwego wymieszania paliwa LPG z powietrzem. Potwierdzeniem są obserwacje zabarwienia elektrod świec po kilkusetkilometrowej jeździe zamiejskiej (fot. 3.20). Elektrody świecy pracującej w cylindrze o najdłuższej drodze mieszanki paliwowo-powietrznej są prawie białe, podczas gdy świeca z cylindra, do którego mieszanka dostarczana jest najkrótszą drogą, przybrała barwę ceglastobrązową. Wygląd pozostałych dwóch świec potwierdza zmiany składu mieszanki wraz ze zmianą długości przewodów dolotowych, a więc i czasu mieszania.

Szczególnie w takich niepewnych przypadkach poleca się stosownie mieszalników renomowanych wytwórni przeznaczonych do konkretnego typu silnika. Odsunięcie mieszalnika od kolektora dolotowego wydłuża czas mieszania, ale wpływa niekorzystnie na czas odpowiedzi sterowania mieszanką LPG oraz potęguje konsekwencje „strzału", gdy ten wystąpi.

Modyfikacja mieszalnika palnikowego[15]

Zmniejszanie pola przekroju mieszalnika palnikowego wspomaga efekt powstawania strefy podciśnienia, niezbędnego do pracy układu zasilania LPG w całym zakresie obciążeń silnika.

Zmniejszanie pola przekroju powoduje zwiększenie oporów przepływu przez układ dolotowy, a co za tym idzie, spadek napełnienia w warunkach pełnego otwarcia przepustnicy. Są to sprzeczne wymagania. Przeprowadzenie optymalnego doboru mieszalnika nie jest możliwe w warunkach warsztatowych. Bazuje się zatem na danych wynikających z doświadczenia osób montujących instalacje oraz na porównaniach z mieszalnikami fabrycznymi.

W czasie prac nad doborem mieszalnika do układu zasilania zachodzi często konieczność zmiany charakterystyki mieszalnika, co wymaga jego wymiany. Innym często stosowanym rozwiązaniem jest wprowadzenie w przelot specjalnie ukształtowanego elementu powodującego wzrost prędkości przepływu powietrza, a zatem zwiększenie podciśnienia uzyskiwanego w miejscu wprowadzenia LPG do układu zasilania. Zachowywane jest bez zmian pole przekroju otworów mieszalnika, przez które podawany jest LPG (fot. 3.21).

Regulator prędkości obrotowej biegu jałowego

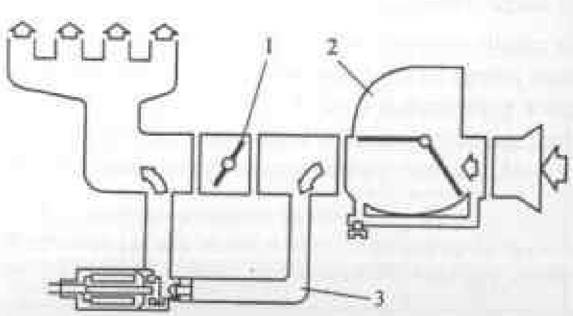
Układy wtryskowe benzyny są często wyposażone w regulator prędkości obrotowej. Działanie takiego urządzenia polega na doprowadzaniu regulowanej ilości powietrza przez kanał bocznikujący przepustnicę (rys. 3.12). Jeżeli układ regulacji biegu jałowego pobiera powietrze sprzed mieszalnika, to podczas pracy silnika zasilanego LPG na biegu jałowym, ilość podawanego powietrza za przepustnicę będzie

[15] Nazwa mieszalnika palnikowego wzięła się stąd, że obszar w którym znajdują się otwory do wprowadzania LPG do układu dolotowego, wyglądem swym przypomina palnik w kuchence gazowej (fot. 3.21).





Fot. 3.21. Mieszalnik palnikowy przed i po modyfikacji jego charakterystyki



Rys. 3.12. Układ regulacji biegu jałowego
1 – przepustnica, 2 – przepływomierz, 3 – kanał obejściowy przepustnicy

się zmieniać bez zmiany prędkości przepływu powietrza przez mieszalnik, co wpływa na zmianę składu mieszanki LPG-powietrze i powoduje nierównomierność pracy silnika zasilanego LPG na biegu jałowym[16].

W przypadku występowania tego typu regulacji, mieszalnik należy zamontować przed wlotem powietrza biegu jałowego. Przez kanał obejściowy przepustnicy powinna przepływać mieszanka palna LPG-powietrze. W przypadku montażu mieszalnika bezpośrednio przed przepustnicą należy zastosować rozwiązanie, które umożliwia pobór mieszanki LPG-powietrze z obudowy mieszalnika i doprowadzenie jej do układu regulacji prędkości obrotowej biegu jałowego. Nie ma to wpływu na pracę układu regulacji prędkości biegu jałowego przy zasilaniu silnika benzyną.

W przypadku użycia mieszalnika uniwersalnego, należy go zamontować przed punktem poboru powietrza do tego układu.

Stosowane rozwiązania mieszalników

- Dołączenie układu zasilania LPG do dowolnego punktu układu zasilania benzyną nad przepustnicą. Metoda ta nie dorobiła się oficjalnej nazwy. Jest to metoda często stosowana w samochodach z silnikami gaźnikowymi, którym nie stawia się wielkich wymagań co do pracy silnika. Przewody elastyczne lub metalowe wprowadzane przeważnie do filtra powietrza korzystają ze spadku ciśnienia na wkładzie filtrującym. Przewody te nie powinny zmieniać swego położenia w obudowie filtra powietrza, czyli muszą być umocowane, oraz nie powinny mieć możliwości zmiany przekroju przez zginanie się.

Na fot. 3.22 przedstawiono typowe rozwiązanie stosowane powszechnie kilka lat temu. Do wnętrza mokrego filtra powietrza wprowadzone są rurki, przechodzące przez wkład siatkowy.

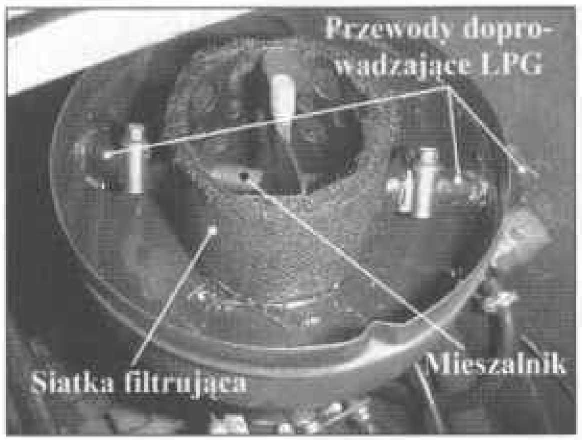
Doprowadzenie LPG do filtra powietrza jest wykonane za pomocą przewodu elastycznego, przechodzącego przez otwór w blasze obudowy filtru powietrza. Przewód jest zagięty w miejscu wprowadzenia w obudowę filtra! Taki sposób montażu powoduje powstanie nieszczelności w miejscu wprowadzenia przewodów do filtra, możliwość przecięcia przewodów elastycznych przez blachę oraz zmianę przekroju przewodów elastycznych w czasie pracy silnika, a zatem zmianę dawkowania paliwa LPG (czyli zmianę składu mieszanki) podczas jazdy.

- **Mieszalnik rurkowy.** Stosowany w układach zasilania LPG montowanych do silników gaźnikowych. Mieszalnik składa się z rurki (bądź rurek) umieszczonej w zwężce (zwężkach) rozpylacza gaźnika. Jest to zatem mieszalnik wykorzystujący spadek ciśnienia na elementach gaźnika. Paliwo LPG jest wprowadzone bezpośrednio nad rozpylaczem gaźnika.

Mieszalnik tego typu powoduje zmianę podciśnienia w rozpylaczu gaźnika, jak również zmianę prędkości strugi powietrza płynącego przez rozpylacz. Powoduje to zmianę charakterystyki dawkowania głównego układu paliwowego gaźnika,

[16] Innym rozwiązaniem jest zablokowanie pracy układu biegu jałowego na drodze elektrycznej. W tym przypadku mieszalnik można montować w dowolnym miejscu.



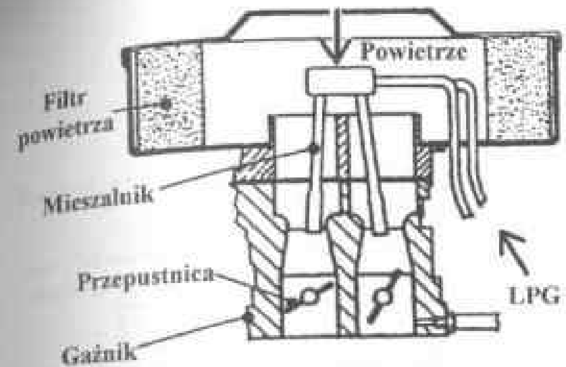


Fot. 3.22. Filtr powietrza z doprowadzonym do niego przewodem gazowym (zdjęcie górne) i wnętrze filtra z widocznym sposobem doprowadzenia LPG do silnika (zdjęcie dolne)

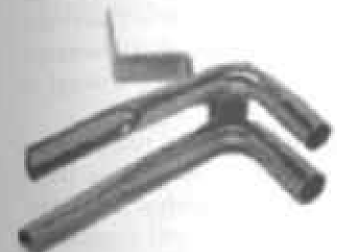
jak również zmianę rozpylenia paliwa w rozpylaczu gaźnika. Zatem zamontowanie mieszalnika tego rodzaju może spowodować wzbogacenie lub zubożenie mieszanki paliwowo-powietrznej podczas zasilania silnika benzyną. Rezultatem tego może być zarówno wzrost, jak i spadek zużycia benzyny oraz osiągów silnika.

Dla pracy układu zasilania LPG istotne jest położenie wylotu rurek mieszalnika w strefie podciśnienia wytworzonego przez zwężkę rozpylacza gaźnika, jak również stabilne ich zamocowanie (rys. 3.13). Rurki są przykręcane do pokrywy gaźnika (fot. 3.23) lub osadzone w płytce mocowanej do gaźnika (fot. 3.24).

Odmianą tego typu mieszalnika jest urządzenie pracujące na tej samej zasadzie, składające się z rurek z tworzywa sztucznego wprowadzonych bezpośrednio nad rozpylacz benzyny. Rurki te z reguły są zamocowane w specjalnie wykonanych obejmach. Wadą tego rozwiązania jest odkształcanie się giętkich rurek na skutek podwyższonej temperatury i chemicznego oddziaływania środowiska pracy. Ponadto rozwiązanie to umożliwia zmianę głębokości osadzenia elastycznych rurek w roz-



Rys. 3.13. Sposób montowania mieszalnika rurkowego w gaźniku



Fot. 3.23. Mieszalnik rurkowy widełkowy przykręcany do pokrywy gaźnika



Fot. 3.24. Mieszalnik rurkowy widełkowy osadzony w płytce montowanej na gaźniku

pylaczu, co powoduje zmiany charakterystyki dawkowania układów zasilania zarówno LPG, jak i benzynowego.

- **Mieszalnik prosty popularnie nazywany „wwiertką"** (fot. 3.25). Stosowany w układach zasilania LPG montowanych do silników gaźnikowych. Zbudowany jest z rurki wprowadzanej przez korpus gaźnika do przelotu (lub przelotów) gaźnika.

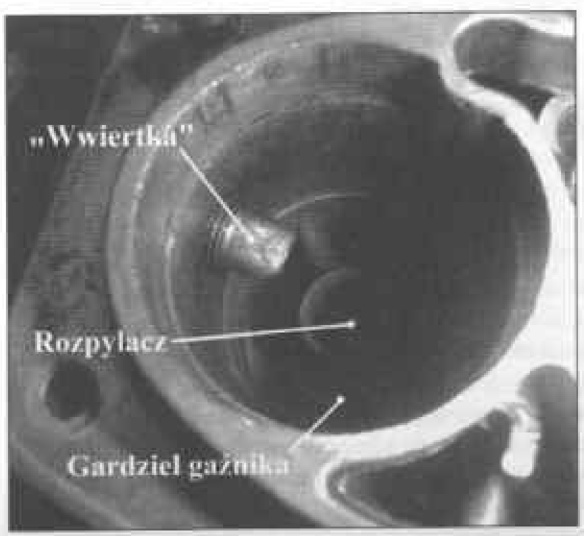


Fot. 3.25. Mieszalnik prosty (tzw. „wwiertka") wraz z zaworem dławiącym służącym do regulacji układu zasilania gazem

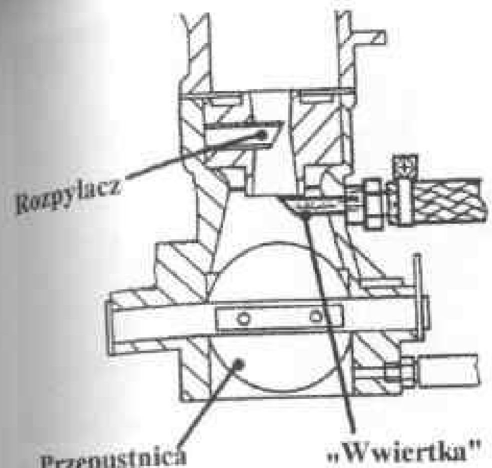
Zastosowanie tego rodzaju mieszalnika wymaga ingerencji w gaźnik. Dla wprowadzenia rurki mieszalnika konieczne jest wykonanie otworu w korpusie gaźnika. W celu zapewnienia optymalnego działania, wylot gazu z mieszalnika powinien znajdować się w strefie największego podciśnienia, zatem w strefie maksymalnego przewężenia rozpylacza lub bezpośrednio za tą strefą. Mieszalnik jest nieskomplikowany, lecz zamontowanie go (wykonanie wiercenia) jest trudne, z uwagi na możliwość zniszczenia gaźnika.

Znacznie łatwiejsze jest wykonanie „wwiertki" nad lub pod rozpylaczem. Zaletą takiego rozwiązania jest mniejsze zagrożenie zniszczenia gaźnika, dobre wymieszanie paliwa LPG z powietrzem, jak również mniejszy wpływ „wwiertki" na pracę gaźnika przy zasilaniu silnika benzyną. Wadą natomiast jest montowanie w strefie, w której nie panuje największe podciśnienie i w związku z tym osłabienie sygnału sterującego wydatkiem reduktora.

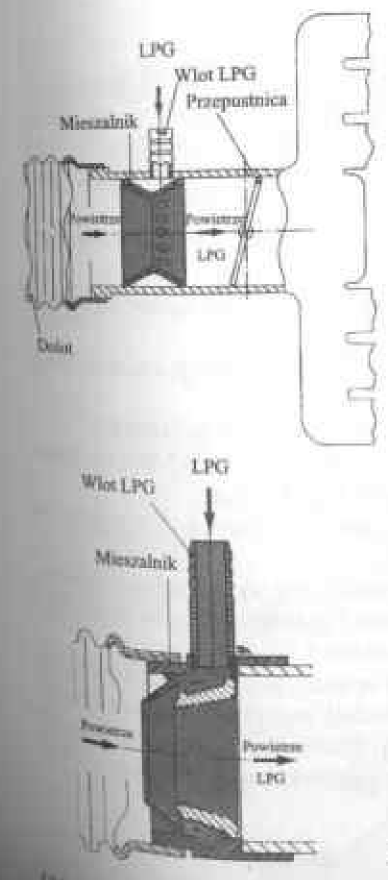
Rozwiązanie przedstawione na fot. 3.26 nie wykorzystuje podciśnienia wytworzonego w rozpylaczu gaźnika i jest najmniej efektywną metodą z uwagi na



Fot. 3.26. „Wwiertka" zamontowana nad rozpylaczem



Rys. 3.14. „Wwiertka" zamontowana pod rozpylaczem



Rys. 3.15. Różne rozwiązania mieszalników palnikowych

pracę układu zasilania LPG. Natomiast „wwiertka" wykonana pod rozpylaczem wykorzystuje straty ciśnienia na rozpylaczu, lecz nie wykorzystuje spadku ciśnienia w zwężce rozpylacza wynikającego z różnicy przekrojów (rys. 3.14).

- **Mieszalnik palnikowy.** Ten typ mieszalnika stosuje się zarówno w silnikach z gaźnikowym, jak i wtryskowym układem zasilania benzyną. Charakteryzuje się tym, że zmienia w sposób celowy podciśnienie w przekroju strugi powietrza przepływającego przez niego. Wykorzystywane jest tutaj zjawisko zwiększenia prędkości przepływu powietrza przez zmniejszony przekrój i powstanie dzięki temu strefy podciśnienia[17] używanej do sterowania wydatkiem reduktora LPG. Zmniejszenie przekroju realizowane jest przez odpowiednie ukształtowanie korpusu mieszalnika. Przybiera ono najczęściej kształt zwężki lub kryzy. Spotykane są bardziej skomplikowane rozwiązania (rys. 3.15).

  W korpusie mieszalnika wykonany jest kanał połączony z przestrzenią obniżonego ciśnienia otworami lub szczelinami. Kanał ten jest połączony z komorą II stopnia reduktora LPG. Otwory wprowadzające LPG do układu dolotowego są (powinny być) umieszczone w strefie największego podciśnienia.

Montaż mieszalników palnikowych

Zasadą jest montaż mieszalnika między przepustnicą lub zespołem przepustnic a filtrem powietrza. W układach mieszalnikowych zagrożeniem dla osprzętu silnika są „strzały". Pod tym względem optymalne jest położenie mieszalnika jak najbliżej przepustnic powietrza. Zmniejsza to objętość układu dolotowego wypełnioną mieszanką palną LPG-powietrze.

Sporadycznie spotykany jest montaż mieszalnika w przewodzie dolotowym przed filtrem powietrza. Metoda ta nie jest zalecana, ponieważ:
- powiększa objętość mieszanki paliwowo-powietrznej mogącej zapalić się w układzie dolotowym,
- podczas jazdy samochodu na wejściu do filtra powietrza następują znacznie większe wahania ciśnienia niż za filtrem,
- nie są wykorzystane straty ciśnienia przy przepływie powietrza przez filtr.

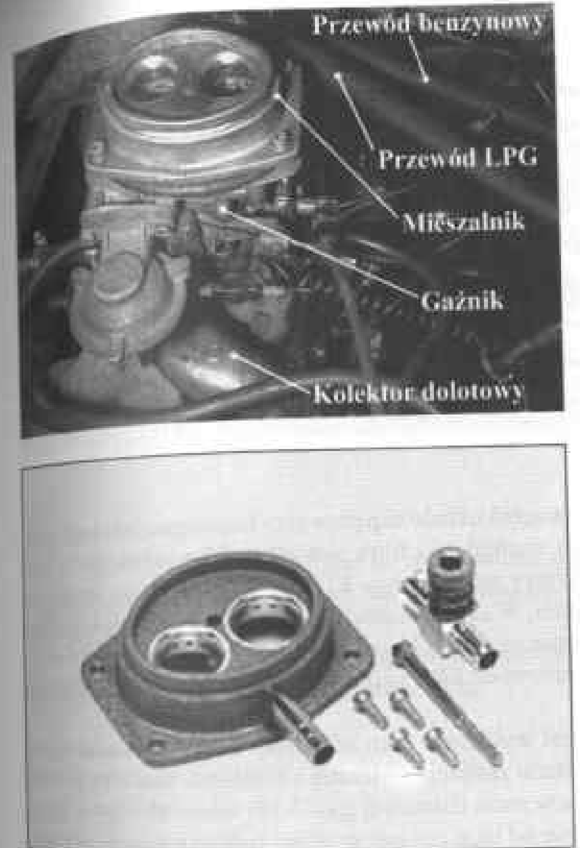
W zależności od rozwiązań technicznych układu zasilania benzyną, stosowane są różne rozwiązania montażu mieszalników palnikowych.

Jeżeli filtr powietrza zabudowany jest na gaźniku, to mieszalnik montuje się z reguły pod lub w filtrze powietrza (fot. 3.27).

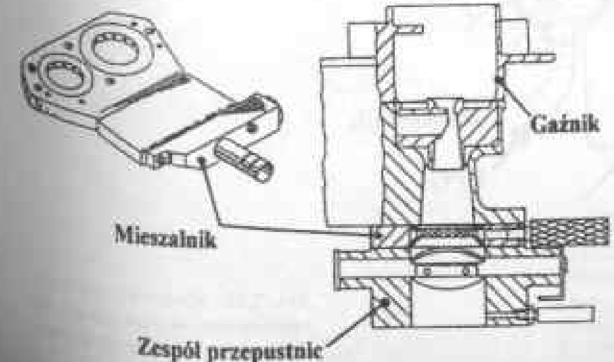
Jeżeli zespół przepustnic gaźnika jest zbudowany jako oddzielny element, czyli możliwe jest rozłączenie zespołu przepustnic i gaźnika, to można zastosować mieszalnik między zespołem przepustnic a gaźnikiem (rys. 3.16).

Mieszalnik zamontowany pod filtrem ma tą wadę, że powoduje podniesienie obudowy filtra powietrza. W niektórych samochodach może być to powodem oparcia obudowy filtra o pokrywę komory silnika. Problem występuje szczególnie w samochodach, w których zawieszenie silnika umożliwia mu wykonywania znacz-

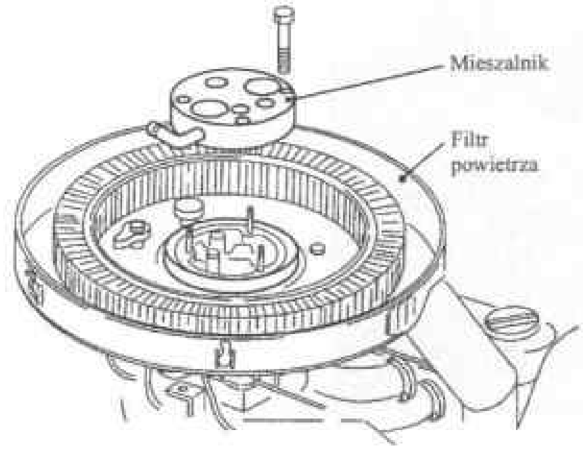
[17] Twierdzenie Bernoulliego.



Fot. 3.27. Mieszalnik palnikowy zamontowany na gaźniku (zdjęcie górne) i jego elementy składowe (zdjęcie dolne)



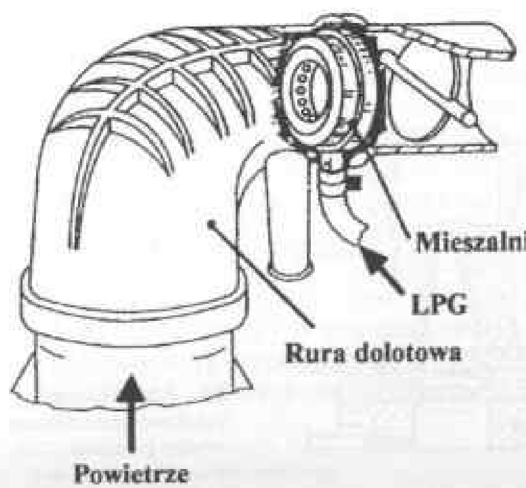
Rys. 3.16. Mieszalnik palnikowy zamontowany między gaźnikiem a zespołem przepustnic



Rys. 3.17. Mieszalnik zamontowany w filtrze powietrza [8]

nych ruchów podczas zmian obciążeń układu napędowego. Rozwiązaniem tego problemu jest montaż mieszalnika w obudowie filtra powietrza. Mieszalnik może być przykręcony do kołnierza pokrywy gaźnika (rys. 3.17) bądź przyciśnięty sprężyną opartą o pokrywę filtra powietrza. W czasie montażu mieszalnika w obudowie filtra powietrza należy zwrócić uwagę na uszczelnienie przejścia przewodu przez obudowę oraz na zabezpieczenie przewodu LPG przechodzącego przez otwór w blasze przed uszkodzeniem.

Jeżeli filtr powietrza jest wykonany jako oddzielny zespół i połączony za pomocą przewodu z częścią układu zasilania związaną z silnikiem, możliwy jest do wykonania montaż mieszalnika w rurze dolotowej (rys. 3.18) lub na obudowie filtra powietrza (fot. 3.28), niezależnie od tego czy jest to układ zasilania gaźnikowy czy wtryskowy.



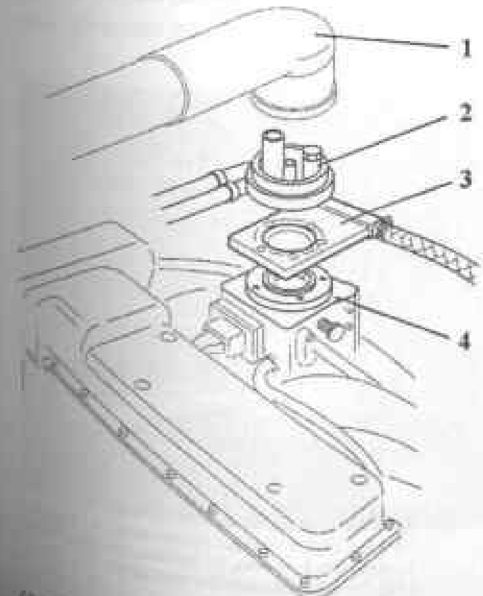
Rys. 3.18. Mieszalnik palnikowy zamontowany w rurze łączącej filtr powietrza z zespołem przepustnic



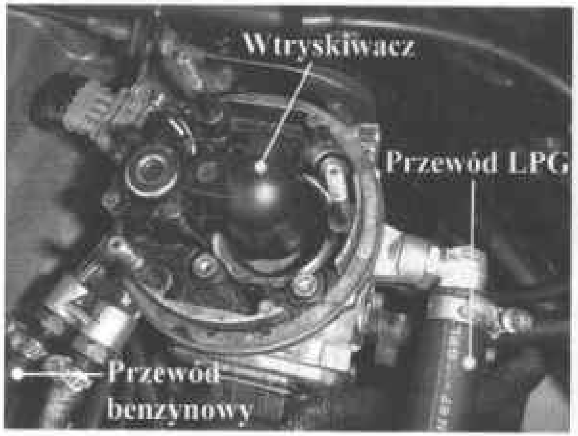
Fot. 3.28. Mieszalnik palnikowy zamontowany na obudowie filtra powietrza

Mieszalniki przeznaczone do montowania w samochodach wyposażonych w jednopunktowy układ wtrysku benzyny, montowane są pod płytką wtryskiwacza benzyny (rys. 3.19 i fot. 3.29).

W układach wielopunktowego wtrysku benzyny, mieszalniki mogą być montowane bezpośrednio na zespole przepustnic.



Rys. 3.19. Mieszalnik palnikowy zamontowany pod płytką wtryskiwacza benzyny
1 – rura dolotowa, 2 – wtryskiwacz benzyny, 3 – mieszalnik, 4 – korpus zespołu wtrysku

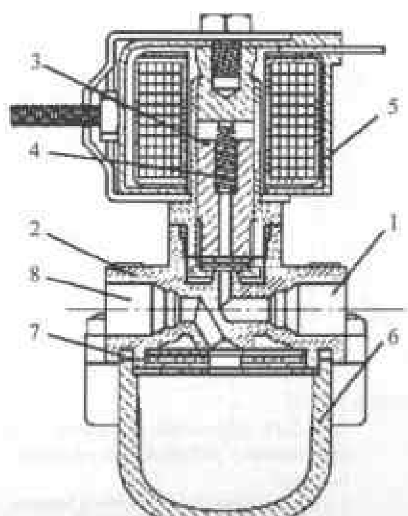


Fot. 3.29. Mieszalnik palnikowy zamontowany pod płytką wtryskiwacza benzyny

Elektrozawory

W układach zasilania LPG stosowane są elektrozawory do blokowania przepływu benzyny i LPG. W układach, które spełniały wymagania podstawowej wersji Regulaminu 67 EKG ONZ, stosowane były dwa zawory: benzynowy i LPG. W układach spełniających wymagania zawarte w Regulaminie 67 EKG ONZ, seria 01 poprawek, montowane są trzy zawory: jeden benzynowy oraz dwa gazowe (jeden na wielozaworze, drugi na wejściu LPG do reduktora).

Zgodnie z wymaganiami Regulaminu 67 EKG ONZ, elektrozawory zamykają przepływ w chwili zaniku napięcia na ich stykach elektrycznych.



Rys. 3.20. Przekrój elektrozaworu
1 – wylot LPG, 2 – korpus elektrozaworu, 3 – trzpień, 4 – sprężyna, 5 – cewka, 6 – obudowa filtra fazy ciekłej LPG, 7 – wkład filtrujący, 8 – wlot LPG

W środku cewki elektrozaworu (5, rys. 3.20) znajduje się trzpień (3) zamykający przepływ przez obwód doprowadzenia paliwa. Po pojawieniu się napięcia na stykach, siła wytwarzana przez cewkę podnosi trzpień, pokonując siłę sprężyny (4). W ten sposób zostaje otwarty przepływ przez elektrozawór. W momencie zaniku napięcia trzpień powraca do swojego położenia początkowego, pod wpływem działającej na niego sprężyny. Faza ciekła LPG przepływa najpierw przez filtr (6, 7), w którym zostają zatrzymane zanieczyszczenia stałe.

Elektrozawory benzynowe są wyposażone w elementy które pozwalają na stałe ich otwarcie niezależnie od napięcia na stykach. Dzięki temu istnieje możliwość jazdy przy zasilaniu benzyną, mimo uszkodzonego elektrozaworu benzynowego.

Prąd przepływający przez cewkę elektrozaworu powoduje jej nagrzewanie, dlatego elektrozawory należy montować w miejscach, w których nie będą one dodatkowo nagrzewane od innych elementów silnika.

Rura między reduktorem i mieszalnikiem

Do połączenia reduktora z mieszalnikiem i innymi elementami układu zasilania LPG używa się giętkiej rury o konstrukcji podobnej do rur używanych w układzie chłodzenia samochodu. Należy stosować rury dostosowane do współpracy z LPG[18]. Często spotykane jest użycie węża przeznaczonego do zastosowania w ogrodnictwie (fot. 3.30).

Jest to rozwiązanie nieprawidłowe i niezgodne z przepisami! W pojazdach wyposażonych w silniki wolnossące, wewnątrz przewodu panuje podciśnienie. Zatem nawet w przypadku jego uszkodzenia paliwo LPG nie powinno wypłynąć z przewodu. Efektem uszkodzenia jest rozcieńczenie LPG powietrzem i zubożenie mieszanki palnej, co przeważnie prowadzi do „strzału" i zgaśnięcia silnika.



Fot. 3.30. Zastosowanie węża ogrodowego jako przewodu doprowadzającego LPG do mieszalnika

[18] Patrz w dodatku A.

W przypadku pracy silnika doładowanego, ciśnienie na wyjściu z reduktora jest niewiele niższe od ciśnienia doładowania silnika, zatem uszkodzenie przewodu powoduje wypływanie paliwa **pod ciśnieniem** do komory silnika. Zubożenie mieszanki i „strzał" mogą nastąpić i w tym przypadku, jednak istnieje też niebezpieczeństwo zapalenia się paliwa LPG w komorze silnika. W układach zasilania LPG montowanych do silników doładowanych, należy zwrócić szczególną uwagę na ten element ze względów bezpieczeństwa.

Instalacja elektryczna

Najprostsza instalacja elektryczna układów zasilania LPG I generacji montowanych do samochodów z silnikami gaźnikowymi, składa się z przełącznika, którym kierujący pojazdem przełącza zasilanie zaworów odcinających paliwa (LPG i benzyny) oraz włącza elektromagnetyczny siłownik układu rozruchowego.

Prezentowany na fot. 3.31 przełącznik umożliwia włączenie zasilania LPG, benzyną, obu paliwami na raz lub odcięcie dopływu obu paliw. Naciśnięcie na obrotowy przełącznik powodowało uruchomienie urządzenia wspomagającego rozruch silnika. Wiązkę stanowiły cztery przewody elektryczne: zasilający przełącznik, sterujący zaworem LPG, sterujący zaworem benzynowym oraz zasilający cewkę siłownika.

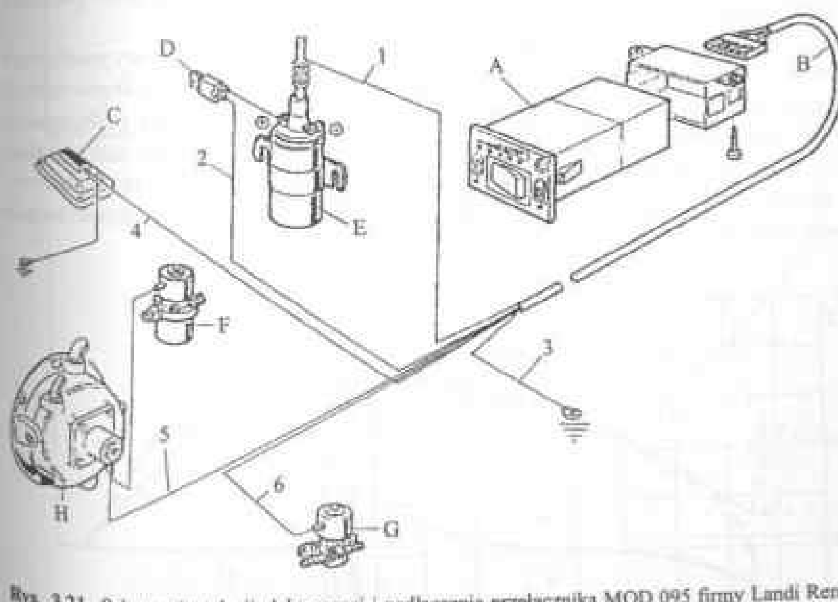


Fot. 3.31. Mechaniczny przełącznik stosowany w instalacjach z początku lat osiemdziesiątych

Instalacje takie były łatwe do wykonania z wykorzystaniem dowolnego typu przełączników, nawet w warunkach „garażowych".

W przypadku tego przełącznika konieczne było stosowanie reduktora „podciśnieniowego", co zabezpieczało przed wypływem LPG z reduktora po zgaszeniu silnika. Blokowanie wypływu z reduktora podciśnieniowego jest spowodowane zanikiem podciśnienia w kolektorze dolotowym (15, rys. 3.10).

Wymagania techniczne wprowadziły konieczność stosowania samoczynnej funkcji blokowania zasilania zaworu LPG w momencie unieruchomienia silnika samochodu. Było to spowodowane wprowadzeniem reduktorów, które po włączeniu zasilania LPG dawkują paliwo do układu dolotowego silnika (np. fot. 3.14, tzw. reduktory „elektroniczne") i koniecznością zabezpieczenia przed ryzykiem wypływu LPG z reduktora po zatrzymaniu silnika z włączonym zapłonem lub po włączeniu stacyjki w celu przeprowadzenia czynności obsługowych. Sygnał informujący o tym czy silnik pracuje, jest pobierany za pomocą przewodu elektrycznego (1, rys. 3.21) owiniętego wokół przewodu wysokiego napięcia lub bezpośrednio z cewki zapłonowej. Brak sygnału wyłącza zasilanie cewki elektrozaworu odcinającego dopływ LPG (F, rys. 3.21). Zabepieczenie nie działa na układ wspomagający rozruch silnika na LPG.



Rys. 3.21. Schemat instalacji elektrycznej i podłączenia przełącznika MOD 095 firmy Landi Renzo A – przełącznik, B – wiązka przewodów elektrycznych, C – wskaźnik poziomu LPG, D – bezpiecznik, E – cewka zapłonowa, F – elektrozawór LPG, G – elektrozawór benzynowy, H – reduktor, 1 – przewód sygnalizacji pracy silnika, 2 – przewód zasilający przełącznik, 3 – przewód do masy, 4 – przewód sygnalizacji poziomu LPG w zbiorniku, 5 – przewód sterujący elektrozaworem LPG, 6 – przewód sterujący elektrozaworem benzynowym

Nowoczesne przełączniki mają również funkcję wskaźnika poziomu paliwa LPG w zbiorniku.

Przełączniki przystosowane do współpracy z reduktorami „elektroniczny-mi" realizują następujące funkcje:
- sterowanie zaworem (zaworami) odcinającym dopływ LPG do silnika,
- sterowanie zaworem odcinającym dopływ benzyny do silnika,
- wykrywanie pracy silnika oraz sterowanie siłownikiem elektromagnetycznym układu wspomagającego rozruch na LPG.

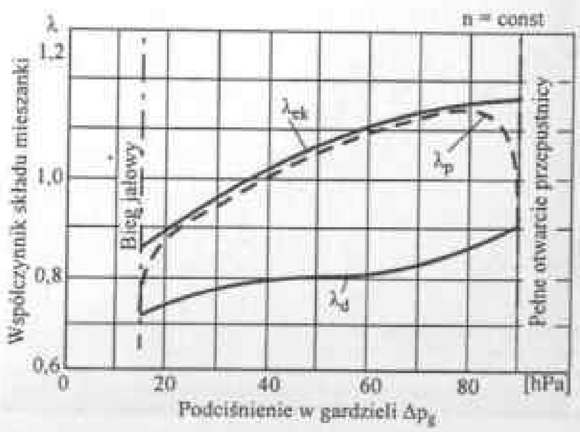
3.1.4. Regulacja układów zasilania LPG I generacji

Aby silnik spalinowy pracował poprawnie musi być zasilany mieszanką paliwowo-powietrzną o określonym składzie. Dobór składu mieszanki podawanej przez benzynowy układ zasilania jest kompromisem między wzajemnie sprzecznymi wymaganiami.

Wzbogacanie w pewnym zakresie mieszanki w stosunku do mieszanki stechiometrycznej, zapewnia stabilną pracę silnika, szczególnie w zakresach małego współczynnika napełnienia cylindrów (bieg jałowy), oraz pozwala osiągnąć maksymalną moc i maksymalny moment obrotowy silnika. Spalanie mieszanek ubogich (w pewnym zakresie) od stechiometrycznej, pozwala na obniżenie zużycia paliwa.

Na rys. 3.22 przedstawiono optymalne krzywe składu mieszanki dla minimalnego zużycia paliwa (λ_{ek}) oraz maksymalnego momentu (λ_d) w funkcji obciążenia silnika, dla całej prędkości obrotowej. Linią przerywaną zaznaczono pożądaną charakterystykę układu zasilania silnika o zapłonie iskrowym (λ_p).

Optymalnym rozwiązaniem stosowanym w silnikach nie wyposażonych w sondę lambda, jest regulacja zapewniająca bogatą mieszankę w zakresie małych obciążeń, zubożenie mieszanki w zakresie średnich obciążeń silnika (oszczędność paliwa) oraz wzbogacenie przy pełnym obciążeniu, w celu uzyskania maksymalnej mocy. W przypadku regulacji mającej ograniczyć emisję spalin z układu wylotowego, dochodzi jeszcze jedna zmienna do uwzględnienia w procesie projektowania układu zasilania.



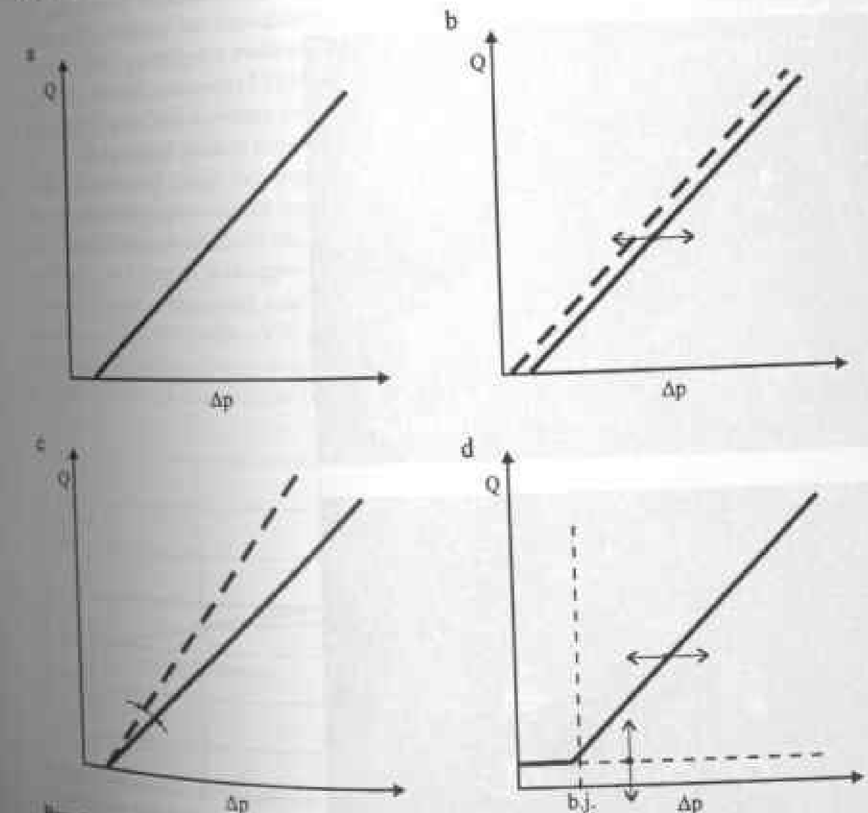
Rys. 3.22. Charakterystyki układu zasilania silnika o zapłonie iskrowym

Skład mieszanki regulowany przez układy mieszalnikowe I generacji jest wynikiem doboru mieszalnika oraz charakterystyki i regulacji reduktora.

Standardowa regulacja polega na:
- regulacji prędkości obrotowej i składu mieszanki na biegu jałowym,
- regulacji składu mieszanki przy podwyższonej prędkości biegu jałowego (około 3000 obr/min),
- sprawdzeniu składu mieszanki na biegu jałowym.

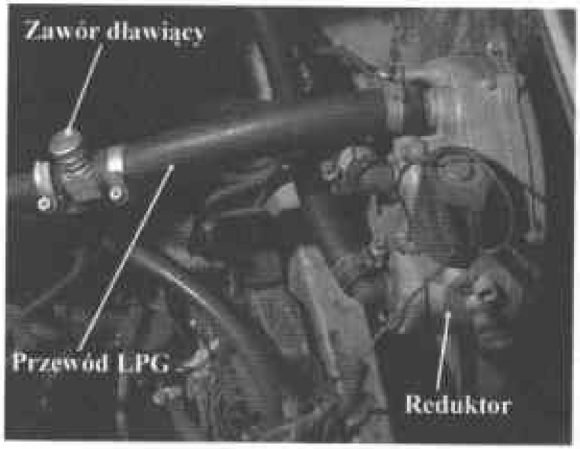
Regulacja składu mieszanki

Skład mieszanki na biegu jałowym jest regulowany przez zmianę napięcia wstępnego sprężyny w układzie regulacji ciśnienia II stopnia reduktora (fot. 3.13). Powoduje to zmianę dawkowania w całym zakresie prędkości przepływu (prędkości obrotowych i obciążenia silnika), co przedstawiono schematycznie na rys 3.23.



Rys. 3.23. Wpływ regulacji reduktora na przebieg jego charakterystyki
a – charakterystyka podstawowa, b – zmiana napięcia wstępnego sprężyny w układzie regulacji ciśnienia II stopnia reduktora, c – zmiana ustawienia zaworu dławiącego, d – charakterystyka reduktora wyposażonego w układ ...
Q – wydatek LPG z reduktora, Δp – różnica ciśnień na przeponie 2 stopnia regulacji, b.j. – bieg jałowy

Jeżeli reduktor jest wyposażony w układ regulacji wydatku LPG działający niezależnie od układu regulacji ciśnienia II stopnia, to w warunkach pracy silnika na biegu jałowym paliwo LPG powinno być dostarczane z obu tych układów równocześnie, z tym że większość paliwa powinien podawać układ obejściowy. Regulacje reduktora rozpoczyna się na silniku pracującym na biegu jałowym. Należy regulować reduktor w taki sposób, aby silnik był zasilany jedynie z układu obejściowego, uzyskując to przez zmianę nastaw układu obejściowego oraz przez zmianę napięcia sprężyny układu regulacji II stopnia reduktora w ten sposób, aby przerwać podawanie LPG przez układ regulacji wydatku. Skład mieszanki powinien być niewiele uboższy od docelowego. Następnie należy, zmieniając napięcie wstępne sprężyny układu regulacji II stopnia reduktora, spowodować lekkie wzbogacenie mieszanki LPG-powietrze, co świadczy o tym, że główny układ podający LPG wszedł w zakres pracy.





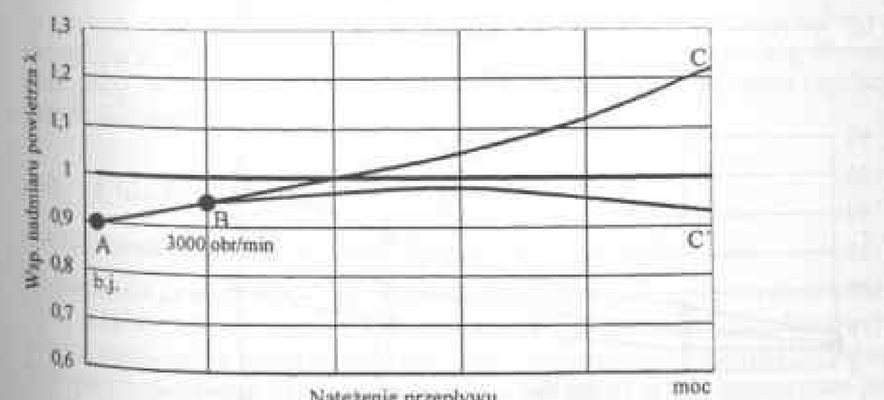
Fot. 3.32. Zawór dławiący do regulacji wydatku reduktora, umieszczony na przewodzie łączącym reduktor z układem dolotowym (regulacja „na śrubę")

Prawidłowo przeprowadzona regulacja reduktora wyposażonego w układ obejściowy sprawia, że zakłócenia ciśnienia w układzie dolotowym mają niewielki wpływ na skład mieszanki na biegu jałowym. Ponadto, jeżeli silnik zmniejszy prędkość obrotową na biegu jałowym, to występuje wzbogacenie mieszanki zapewniające jego stabilną pracę.

Po zakończonej regulacji biegu jałowego należy zwiększyć prędkość obrotową silnika (przez częściowe otwarcie przepustnicy silnika) do wartości około 3000 obr/min i regulować skład mieszanki za pomocą zaworu dławiącego znajdującego się między reduktorem i mieszalnikiem (fot. 3.32). Wpływ tej regulacji na charakterystykę dawkowania przedstawiono schematycznie na rys. 3.23c. Następnie sprawdza się powtórnie skład mieszanki na biegu jałowym.

Tak wykonana regulacja dotyczy dwóch punktów na charakterystyce przepływu powietrza przez układ dolotowy (punkty A i B na rys. 3.24). Przepływ powietrza w układzie dolotowym silnika pracującego na biegu jałowym odpowiada ok. 5% przepływu przy mocy maksymalnej, natomiast przepływ powietrza przy prędkości obrotowej silnika 3000 obr/min bez obciążenia zewnętrznego, odpowiada prędkości przepływu w granicach 20% przepływu maksymalnego. Odpowiada to jeździe ze stałą prędkością ok. 60 km/h. Skład mieszanki LPG-powietrze poza zakresem, w którym przeprowadzana jest regulacja może być dowolny, co obrazują odcinki krzywych BC i BC′ na rys. 3.24.

Regulacja składu mieszanki w dwóch punktach pracy silnika, tzn. przy prędkości obrotowej biegu jałowego oraz przy podwyższonej prędkości biegu jałowego, nie zapewnia poprawności regulacji składu mieszanki w całym zakresie pracy silnika. Przepływ powietrza w układzie dolotowym zależy od obciążenia silnika. W warunkach, w których wykonywane są regulacje, przepływ stanowi nie więcej niż 20% wartości odpowiadającej mocy maksymalnej. Charakterystyka dawkowania układu zasilania LPG dla większych prędkości przepływu powietrza, odpowiadająca większym prędkościom jazdy oraz warunkom przyspieszania samochodu, wynika tylko z charakterystyk elementów (reduktora i mieszalnika) i przeważnie nie jest regulo-

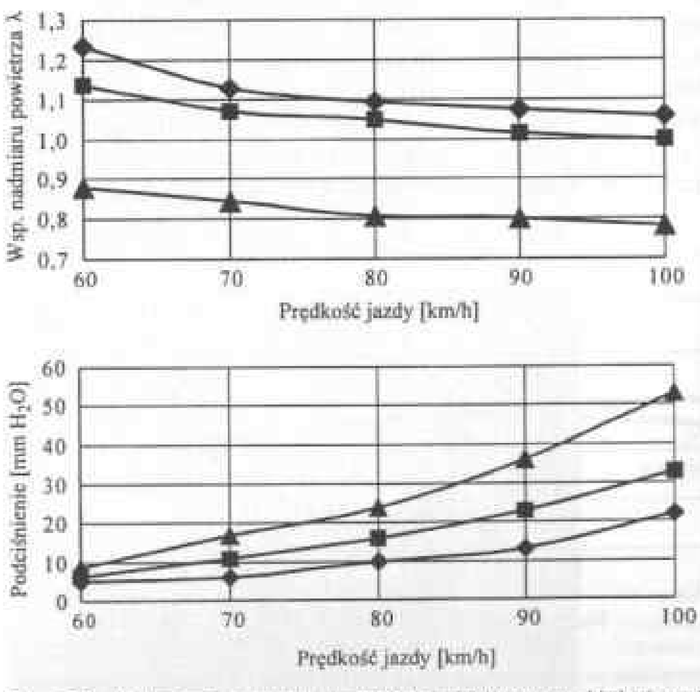


Rys. 3.24. Warunki pracy silnika na biegu jałowym (b.j.) oraz przy podwyższonej prędkość biegu jałowego (3000 obr/min), w porównaniu z całym zakresem natężenia przepływu powietrza w układzie dolotowym

wana. Bez obciążenia silnika nie jest możliwe wywołanie odpowiedniego przepływu powietrza w układzie dolotowym, zatem pomiary składu spalin silnika pracującego bez obciążenia nie pozwalają na ocenę regulacji składu mieszanki w całym zakresie obciążeń silnika.

Trzeba wspomnieć również o tym, że nawet idealnie wyregulowany układ zasilania LPG I generacji nie jest w stanie skompensować zmiany składu paliwa LPG tankowanego do zbiornika paliwa gazowego, jak również zmian charakterystyki reduktora. Zasada działania mieszalnikowego układu sterowania składem mieszanki LPG-powietrze opiera się na regulowaniu przez reduktor wydatku objętościowego LPG w fazie gazowej, w zależności od podciśnienia w miejscu wprowadzenia LPG do układu dolotowego silnika. Problem jednak z tym, że propan i butan potrzebują do spalenia jednostki objętości paliwa różnych objętości powietrza (rozdział 2, tabela 2.5). Dla przykładu, jeżeli wykona się regulację układu zasilania LPG silnika pracującego na paliwie o zawartości 30% propanu, to po zatankowaniu paliwa o zawartości 85% propanu skład mieszanki zmieni się o 15%.

Regulacja jest prawidłowa dla paliwa użytego do zasilania silnika podczas jego regulacji. Po zatankowaniu paliwa LPG o innych proporcjach propanu i butanu, skład mieszanki ulegnie zmianie pomimo braku ingerencji w regulację silnika. Konieczna jest zmiana regulacji układu zasilania LPG, w zależności od składu danej partii paliwa.



Rys. 3.25. Wpływ zmian podciśnienia w układzie dolotowym na skład mieszanki LPG-powietrze

Ponadto, nawet poprawna regulacja układu zasilania LPG wykonana na samochodzie stojącym w warsztacie, nie zapewnia poprawności działania podczas jazdy. Zasada działania układu mieszalnikowego powoduje, że jest on podatny na zakłócenia ciśnienia w układzie dolotowym.

Na rys. 3.25 przedstawiono wpływ zmian podciśnienia w układzie dolotowym samochodu z silnikiem gaźnikowym, mierzonego na wlocie do mieszalnika, na skład mieszanki LPG-powietrze.

Nawet niewielkie zmiany podciśnienia (od kilku do kilkunastu milimetrów słupa H_2O) powodują duże zmiany składu mieszanki LPG-powietrze. Wzrost podciśnienia powoduje wzbogacanie mieszanki, a spadek – zubożenie.

Zmiana dławienia w układzie dolotowym (w tym zmiana oporów przepływu przez filtr powietrza) lub powstanie nieszczelności w układzie dolotowym (na przykład niestaranne założenie pokrywy filtra powietrza), wpływ rozkładu ciśnień wywołanych jazdą samochodem nie tylko w obrębie wlotu powietrza do filtru powietrza, lecz również w rejonie otworu kompensacyjnego reduktora, zmieniają skład mieszanki LPG-powietrze, którą zasilany jest silnik.

Zasilanie silnika mieszanką ubogą powoduje znacznie gorsze warunki dla pracy silnika, niż zasilanie mieszanką zbyt bogatą. Mając na względzie zagrożenia dla stabilności regulacji składu mieszanki LPG-powietrze podczas pracy silnika, przyjmuje się za prawidłową regulację mieszanki bogatszą niż stechiometryczna w całym zakresie prędkości obrotowej silnika.

Regulacja układów zasilania LPG wymaga użycia diagnostycznego analizatora spalin. Analiza spalin pozwala na ocenę składu mieszanki niezależnie od paliwa, którym zasilany jest silnik samochodu. Jeżeli samochód nie jest wyposażony w reaktor katalityczny, a regulacja dotyczy mieszanek bogatych, to do oceny składu spalin wystarcza analizator tlenku węgla (CO).

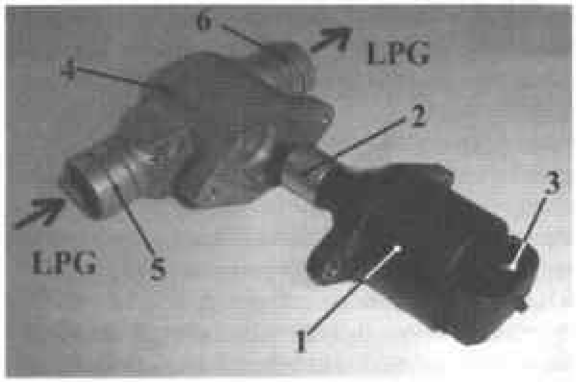
Mieszanka palna LPG-powietrze ma szersze granice prawidłowego spalania niż mieszanka benzyna-powietrze. Jest to z jednej strony ogromna zaleta, podnosząca pewność działania silników zasilanych LPG, z drugiej zaś strony utrudnienie regulacji „na słuch". Regulacja taka jako podstawę do oceny przyjmuje niejednostajność pracy silnika. Używanie analizatora spalin umożliwia dokładniejszą regulację układu zasilania LPG.

3.2. Układy zasilania LPG II generacji

3.2.1. Zasada działania układów zasilania LPG II generacji

Wyposażanie samochodów w sondy lambda[19] spowodowało zmiany w zasadzie działania układów wtrysku benzyny. Do czasu wprowadzenia do produkcji układów zasilania sterowanych z wykorzystaniem sondy lambda, układy dawkujące paliwo były przystosowane do cyklicznie wykonywanych korekt składu mieszanki, a jednym z głównych problemów konstrukcyjnych było zapewnienie stabilności składu mieszanki w okresie międzyobsługowym.

[19] Patrz opis instalacji elektrycznej układów zasilania LPG II generacji w podrozdziale 3.2.2.



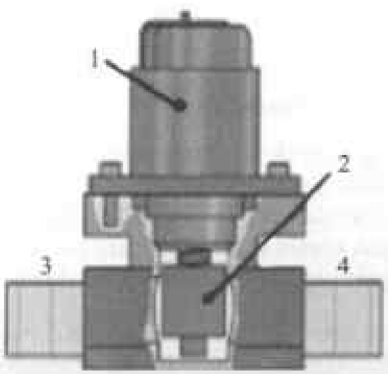
Fot. 3.33. Silnik krokowy
1 – obudowa silnika krokowego, 2 – tłoczek blokujący przepływ, 3 – złącze elektryczne do podłączenia przewodów sterujących, 4 – korpus, 5, 6 – króćce przyłączeniowe przewodów gazowych

Możliwość określania składu mieszanki pozwoliła na zastosowanie urządzeń samoregulujących podczas jazdy. Sondy lambda współpracują z gaźnikowymi układami zasilania oraz układami wtryskowymi benzyny różnych konstrukcji.

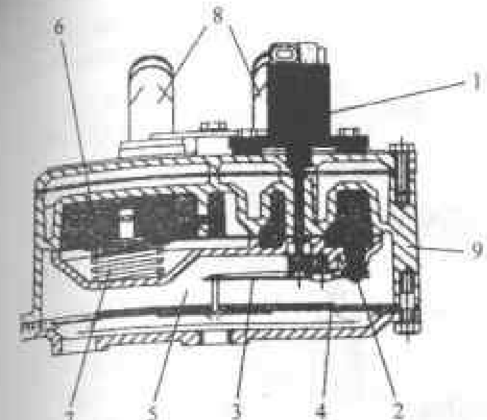
Zasada działania układów zasilania LPG I i II generacji jest identyczna. Jedyną różnicą jest wprowadzenie w układach II generacji urządzenia wykonawczego, umożliwiającego dokonywanie korekcji składu mieszanki LPG-powietrze, przy wykorzystaniu sygnału sondy lambda układu zasilania benzyną.

Najczęściej spotykanym urządzeniem wykonawczym jest zawór dławiący, zamontowany na przewodzie gazowym między reduktorem a mieszalnikiem (fot. 3.33, rys. 3.26), służący do regulacji dawkowania paliwa LPG. Zawór ten może mieć różną budowę, lecz w dominujących na rynku instalacjach produkcji włoskiej jest to zawór o stopniu dławienia regulowanym przez silnik krokowy. Niektóre z urządzeń są wyposażone w okienko umożliwiające obserwację poruszania się tłoka zaworu podczas pracy, a tym samym sprawdzanie, czy urządzenie regulacji składu mieszanki działa.

Silniki krokowe należy montować w pozycji możliwie zbliżonej do pionu, przy czym silnik powinien znajdować się nad częścią wykonawczą, aby zapobiec odkładaniu się zanieczyszczeń paliwa LPG w silniku krokowym.



Rys. 3.26. Częściowy przekrój przez silnik krokowy z widocznym trzpieniem blokującym przepływ LPG przez przewód gazowy
1 – silnik krokowy, 2 – tłoczek zaworu dławiącego, 3 i 4 – wlot i wylot LPG



Rys. 3.27. Przekrój reduktora z regulacją biegu jałowego za pomocą silnika krokowego
1 – silnik krokowy, 2 – zawór zwrotny, 3 – dźwignie II stopnia regulacji, 4 – membrana II stopnia regulacji, 5 – komora II stopnia, 6 – membrana I stopnia regulacji, 7 – sprężyna zaworu I stopnia regulacji, 8 – króćce doprowadzający i odprowadzający ciecz z układu chłodzenia, 9 – korpus reduktora

Silnik krokowy może oddziaływać na charakterystykę reduktora. Przez zmianę napięcia wstępnego sprężyny II stopnia regulacji ciśnienia zmienia charakterystykę dawkowania, czyli może w ten sposób korygować skład mieszanki (rys. 3.27).

Istnieją reduktory z oddzielnym sterowaniem składem mieszanki na biegu jałowym. Silnik krokowy działa w nich na I stopień regulacji ciśnienia reduktora, zmieniając ciśnienie w komorze I stopnia regulacji. Komory I i II są połączone za pomocą kanału obejściowego zaworu II stopnia regulacji. Zwiększanie ciśnienia powoduje zwiększenie natężenia wypływu LPG.

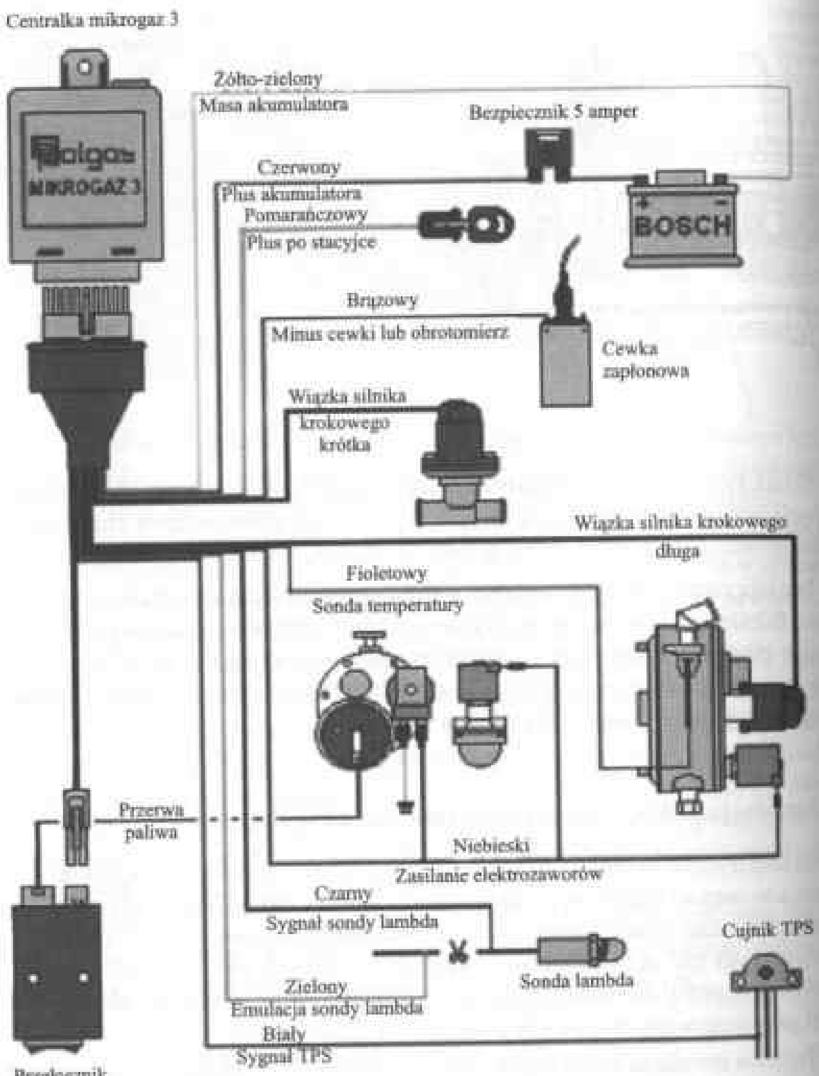
3.2.2. Instalacja elektryczna układów zasilania LPG II generacji

Instalacja elektryczna układów zasilania LPG II generacji przeznaczona jest do zastosowania w samochodach wyposażonych w sondę lambda. Układy mieszalnikowe są układami zasilania o zastosowaniu uniwersalnym, zatem również instalacja elektryczna musi być dostosowana do montażu w różnych samochodach. Oprócz nielicznych wyjątków ich kompletacja jest wynikiem połączenia kilku elementów w zespół przystosowany do pracy w konkretnym samochodzie.

Typowa instalacja elektryczna układu zasilania LPG składa się z następujących części (rys. 3.28):
- przełącznika wyboru paliwa,
- emulatora[20] wtrysku,
- emulatora (emulatorów) sondy (sond) lambda,
- centralki sterującej pracą silnika krokowego.

Zadania instalacji elektrycznej:
- odcięcie wtrysku benzyny,
- sterowanie składem mieszanki LPG-powietrze na podstawie sygnału sondy lambda,

[20] Definicja emulatora – patrz w dodatku B.



Rys. 3.28. Przykładowy schemat instalacji elektrycznej układu zasilania LPG II generacji zgodnego z Regulaminem 67, seria 01 poprawek

Silnik krokowy sterujący bezpośrednio reduktorem nie jest rozwiązaniem często spotykanym

- zabezpieczenie układu wtryskowego benzyny przed generowaniem błędu[21] i zmianą mapy wtrysku[22],
- sterowanie zaworami odcinającymi LPG,
- rozwiązanie pozostałych problemów związanych z pracą układu zasilania LPG.

[21] Sterownik silnika zbiera sygnały z czujników i porównuje je z wartościami zapisanymi w pamięci. Jeżeli wartość danego sygnału wykroczy poza wartości dopuszczalne dla danego silnika okre-

Odcinanie zasilania benzyną w układach wtrysku benzyny sterowanych elektronicznie

Przy przełączaniu zasilania na LPG niezbędne jest uniemożliwienie dostarczania benzyny do silnika. Stosowane są niżej przedstawione metody.

- Odcięcie zasilania pompy paliwa (benzyny) przez przekaźnik. Jest to metoda stosowana, lecz nie polecana. Nie każdy sterownik silnika toleruje brak ciągłości obwodu elektrycznego pompy benzyny, a po wykryciu przerwy w obwodzie może np. wyłączyć zapłon. Odcięcie zasilania benzyną wykonane w ten sposób powoduje nieco większe opóźnienie w podawaniu benzyny, przy przełączaniu zasilania z LPG na benzynę.
- Wstawienie przekaźnika odcinającego w elektryczny obwód sterujący wtryskiwacza. Metoda ta nie jest polecana. Sterownik silnika, wykrywając przerwę w obwodzie wtryskiwacza może generować błędy i spowodować zapalenie się lampki „check engine"[23].
- Użycie emulatorów wtrysku. Emulatory wtrysku mają za zadanie włączyć w szereg z uzwojeniem cewki wtryskiwacza elementy, które obniżają natężenie prądu w uzwojeniach wtryskiwacza do poziomu gwarantującego, że wtryskiwacz benzyny nie otworzy się, a zarazem sterownik silnika nie wykryje ingerencji. Powrót do zasilania benzyną jest realizowany przez zamknięcie przekaźnikiem na powrót przerwanych obwodów sterujących.

Emulatory wtrysku muszą być dostosowane do oporności wtryskiwacza. Wtryskiwacze różnią się opornością cewki elektromagnesu, zatem zastosowanie złego emulatora może spowodować niezupełne odcięcie wtrysku i częściowe otwieranie się wtryskiwacza benzyny podczas zasilania silnika LPG. Może również spowodować wystąpienie błędów w funkcjonowaniu pracy silnika na pozór nie związane z działaniem emulatora, na przykład niestabilność pracy silnika na biegu jałowym przy zasilaniu silnika LPG.

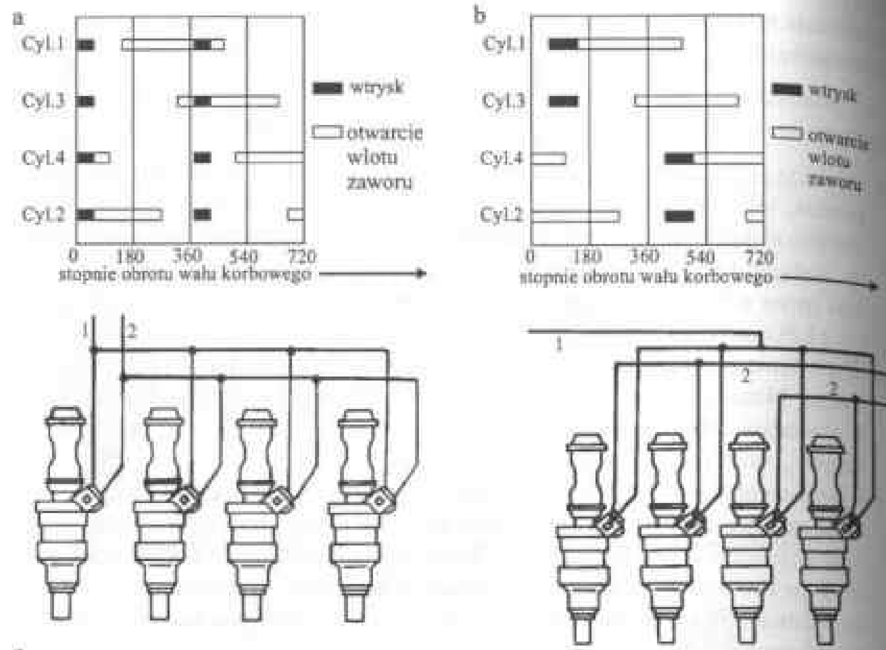
W wielopunktowym układzie wtrysku benzyny, wtrysk paliwa może być realizowany w sposób jednoczesny, półsekwencyjny lub sekwencyjny[24] (rys. 3.29). Zastosowany rodzaj wtrysku można rozpoznać na podstawie schematu jego instalacji elektrycznej. Jeżeli każdy wtryskiwacz ma niezależne wyprowadzenie do ste-

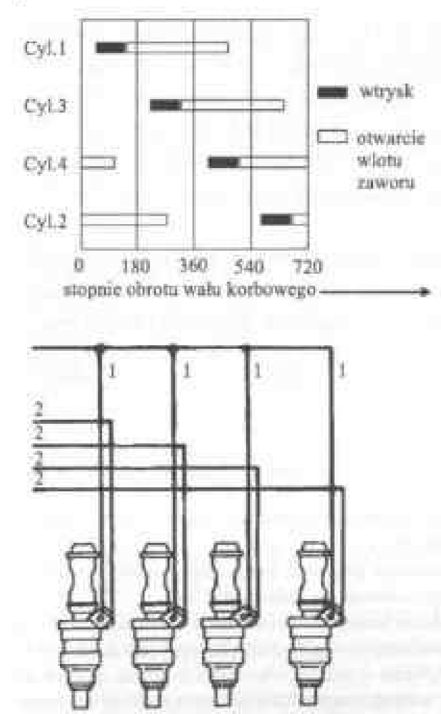
ślone przez jego wytwórcę, sterownik klasyfikuje to jako błąd. Błędy te są przez niego zapamiętywane i mogą być później odczytane.

[22] Mapa wtrysku to zapisane w pamięci sterownika czasy otwarcia wtryskiwaczy benzyny, w zależności od prędkości obrotowej silnika i jego obciążenia.

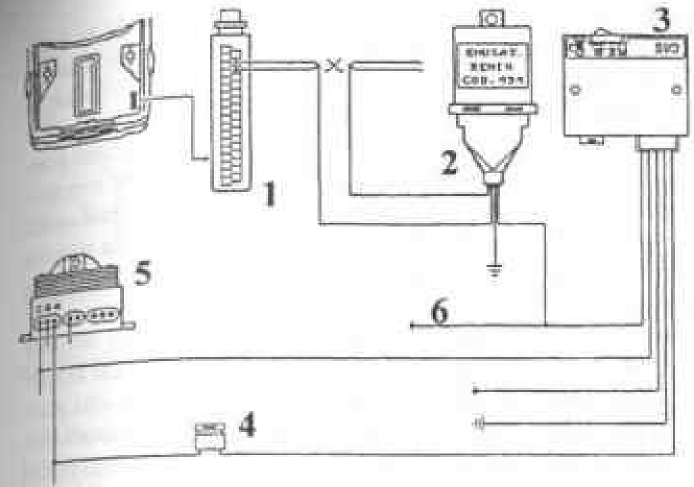
[23] Lampka „check engine" sygnalizuje kierującemu pojazdem konieczność udania się do serwisu, w celu wykrycia i usunięcia przyczyny, która spowodowała jej zaświecenie się.

[24] Wtrysk jednoczesny - wszystkie wtryskiwacze benzyny równocześnie wtryskują paliwo do kanałów dolotowych w głowicy silnika. Wtrysk półsekwencyjny – paliwo wtryskiwane jest jednocześnie przez grupę wtryskiwaczy (np. wtryskiwacze 1. i 3. cylindra w silniku czterocylindrowym). Wtrysk sekwencyjny - paliwo wtryskiwane jest przez każdy wtryskiwacz oddzielnie, w czasie suwu dolotu w danym cylindrze.

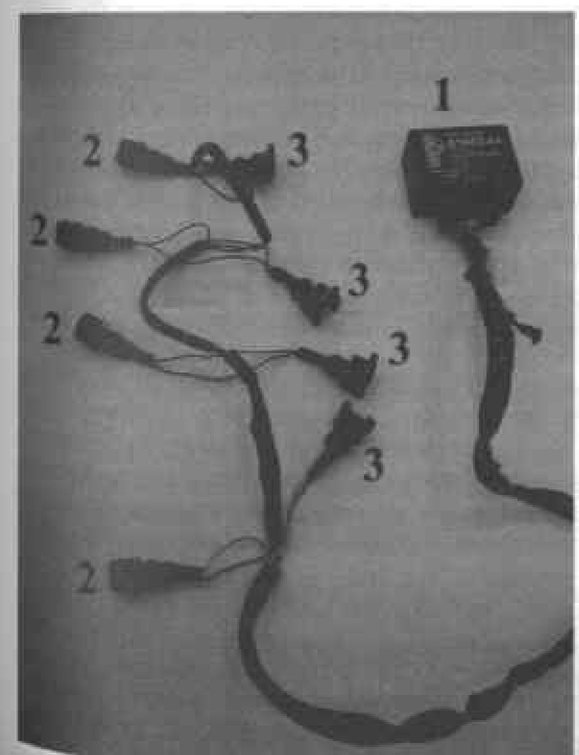




Rys. 3.29. Wtrysk jednoczesny (a), półsekwencyjny (b) oraz sekwencyjny (c) na przykładzie silnika czterocylindrowego
1 – przewód zasilający, 2 – przewód sterujący



Rys. 3.30. Schemat podłączenia jednokanałowego emulatora wtrysku do sterownika silnika
1 – złącze elektryczne sterownika silnika, 2 – emulator wtrysku, 3 – przełącznik wyboru paliwa, 4 – bezpiecznik, 5 – cewka zapłonowa, 6 – przewód podłączany do elektrozaworu odcinającego dopływ LPG



Fot. 3.34. Emulator wtrysku z wiązką przewodów elektrycznych o wyprowadzonych końcówkach do podłączenia wtryskiwaczy
1 – emulator wtrysku, 2 i 3 – końcówki do wpięcia między wtryskiwacz benzyny i wiązkę przewodów elektrycznych

rownika silnika, to wtrysk jest typu sekwencyjnego. Jeżeli wtryskiwacze są połączone elektrycznie w zespoły, to wtrysk jest typu półsekwencyjnego. Natomiast jeżeli wtryskiwacze są obsługiwane przez jedno wyprowadzenie ze sterownika, to mamy do czynienia z wtryskiem jednoczesnym.

Emulator powinien być dobrany w zależności od liczby wyprowadzeń przewodów sterujących ze sterownika silnika. Nie jest to jednak regułą. Zgodnie z technologią zalecaną przez producentów instalacji LPG, stosuje się emulatory jednokanałowe do półsekwencyjnego wtrysku benzyny (rys. 3.30). Efektem jest zmiana wtrysku półsekwencyjnego we wtrysk jednoczesny podczas zasilania silnika benzyną oraz zmiany w pracy sterownika silnika. Rozwiązanie to jest powszechnie stosowane.

Popularne są emulatory wielokanałowe, dołączane między wiązkę wtryskiwaczy a wtryskiwacze. Końcówki wiązki emulatora są wykonane na wzór końcówek stosowanych w samochodzie, a montaż wymaga jedynie zdjęcia kostki przewodu z wtryskiwacza i połączenia z odpowiednimi kostkami wiązki emulatora (fot. 3.34). Podłączenie emulatora nie wymaga cięcia przewodów instalacji elektrycznej samochodu, ani nie powoduje zmian faz wtrysku benzyny.

3.2.3. Sonda lambda

Sonda lambda jest czujnikiem, którego sygnał zawiera informację o zawartości tlenu w spalinach i wynikającym stąd chwilowym składzie mieszanki (średnim dla cylindrów dołączonych do układu wylotowego), która została spalona w silniku. Sygnał sondy jest wykorzystywany przez sterownik silnika w procesie sterowania składem mieszanki oraz do oceny sprawności układu wtryskowego benzyny.

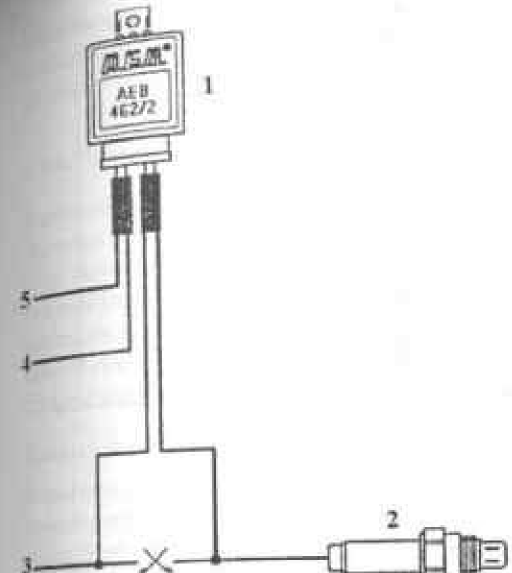
Konstrukcja układów zasilania LPG I generacji nie pozwala na jakiekolwiek sterowanie składem mieszanki z wykorzystaniem sygnału z sondy lambda[25], natomiast sterowanie składem mieszanki LPG-powietrze przez układy II generacji jest dalece niedoskonałe. Reakcją sterownika silnika na sygnał z sondy lambda, pokazujący rzeczywisty stan sterowania składem mieszanki LPG-powietrze przez układy zasilania I i II generacji, jest zmiana mapy wtrysku[26] i generowanie błędów. W takiej sytuacji przełączenie zasilania na benzynę powoduje nieprawidłową pracę układu wtryskowego.

Układy wtryskowe samochodów wyposażonych w jednoprzewodową sondę lambda (bez obwodu grzania sondy) są dostosowane do pracy w przypadku utraty sygnału sterującego. W czasie normalnej eksploatacji samochodu zasilanego benzyną zdarza się wychładzanie sondy[27] poniżej temperatury pracy, zatem utrata sygnału sterującego nie może w takich układach generować błędów w sterowniku.

[25] Nie ma obwodu sterującego położeniem silnika krokowego na podstawie sygnału z sondy lambda.

[26] Sterownik silnika „nie wie", że nie steruje składem mieszanki i koryguje swoje ustawienia na podstawie wskazań sondy lambda.

[27] Sonda lambda może dawać sygnał dopiero po osiągnięciu pewnej temperatury granicznej. Na skutek spadku temperatury spalin (np. praca na biegu jałowym) może nastąpić zmniejszenie temperatury sondy poniżej wartości granicznej.

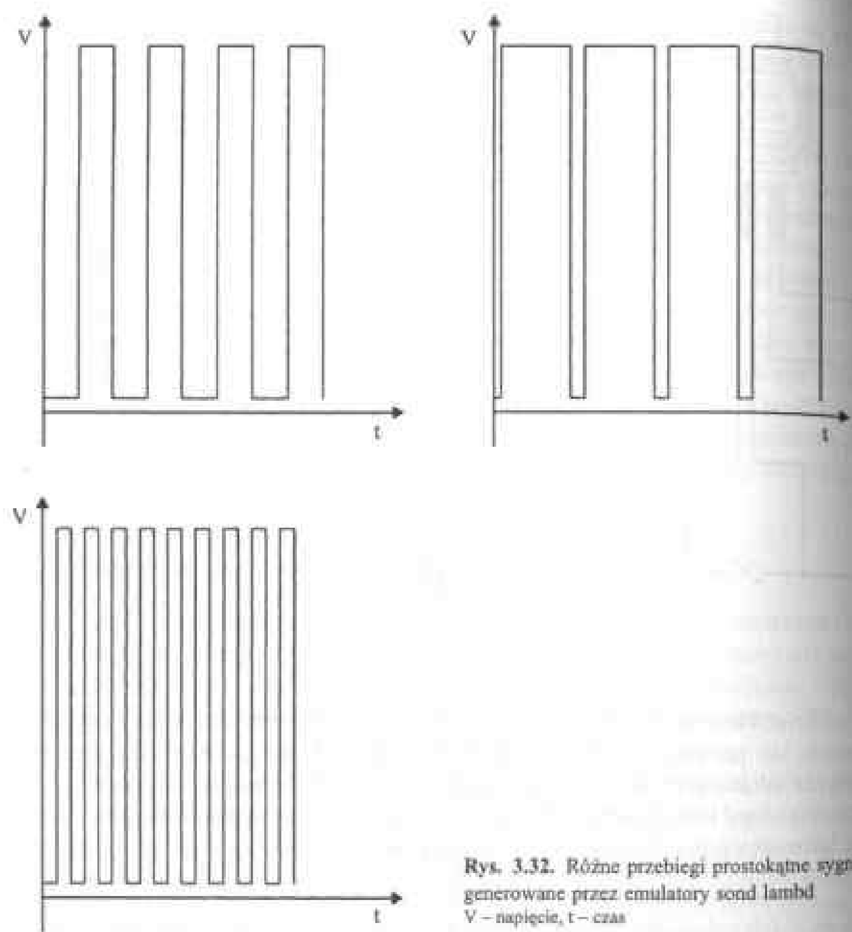


Rys. 3.31. Podłączenie emulatora sondy lambda
1 – emulator sondy lambda, 2 – sonda lambda, 3 – przewód sygnałowy sondy lambda, 4 – przewód sterujący (podłączony do przełącznika wyboru paliwa), 5 – masa

Spotykane są również sterowniki silnika dostosowane do pracy z uszkodzoną sondą lub przerwanym obwodem sygnałowym. W przypadku braku sygnału, sterownik silnika przechodzi w tryb sterowania czasem otwarcia wtryskiwaczy na podstawie mapy i nie generuje błędów, a po ponownym otrzymaniu sygnału podejmuje normalną pracę w pętli sprzężenia zwrotnego.

Dla takich układów stosuje się przerwanie obwodu sygnałowego sondy (emulacja zero) lub połączenie przewodu sygnałowego z masą pojazdu (emulacja masą). Te dwa rodzaje emulacji sondy sprawdzają się w zastosowaniu do starszych układów wtryskowych. Jeżeli sterownik silnika nie akceptuje pracy bez sygnału z sondy lambda, konieczne jest użycie bardziej zaawansowanych metod. W takim przypadku stosowany jest emulator sondy lambda, którego działanie polega na wytworzeniu sygnału elektrycznego o przebiegu klasyfikowanym przez sterownik silnika jako prawidłowa praca sondy lambda, a skład mieszanki jako nie wymagający wprowadzenia korekt w sterowaniu. Emulator sondy lambda stosuje się zatem do zamaskowania niedoskonałości działania układów zasilania LPG.

Przewód sygnałowy sondy lambda jest przecinany między sondą a sterownikiem silnika (rys. 3.31). Podczas zasilania silnika paliwem LPG, sonda lambda jest odłączona od sterownika silnika, a jej sygnał zastąpiony przez sygnał generowany przez emulator. Sygnał ten jest wprowadzany do sterownika silnika przez przewód sygnałowy sondy lambda. Przełączenie rodzaju zasilania na benzynę powoduje przywrócenie połączenia obwodu sondy lambda ze sterownikiem silnika.



Rys. 3.32. Różne przebiegi prostokątne sygnału generowane przez emulatory sond lambda
V – napięcie, t – czas

Emulacja jest realizowana przez generatory przebiegów prostokątnych o parametrach dostosowanych do poszczególnych sterowników silnika.

Najprostszy emulator generuje przebieg prostokątny o stałej częstotliwości i stałym kształcie fali i jest dostosowany do konkretnego układu wtryskowego. Zaawansowane emulatory pozwalają na dostosowanie amplitudy przebiegu sygnału zastępczego do wymagań wielu układów wtryskowych, wyposażonych w sondy lambda o różniących się napięciach pracy. W bardziej zaawansowanych układach istnieje możliwość zmiany zarówno częstotliwości, jak też przebiegu sygnału (rys. 3.32).

Praca emulatora zaczyna się w chwili przełączenia zasilania z benzyny na LPG, a kończy z chwilą przełączenia zasilania z LPG na benzynę, przy czym zakończenie pracy może być opóźnione o kilka sekund. W chwili przełączania paliw, skład mieszanki jest wynikiem stopniowego zmniejszania się wypływu LPG do układu dolotowego oraz rozpoczęcia pracy przez układ benzynowy. Powoduje to zubożenie

lub wzbogacenie mieszanki przez nakładanie się paliw podczas przełączania rodzaju zasilania. Wydłużenie działania emulatora o kilka sekund pozwala na opróżnienie układu dolotowego z LPG i podjęcie nie zakłóconej pracy przez sterownik silnika.

3.2.4. Sterownik składu mieszanki układu zasilania LPG II generacji

Sterownik odczytuje sygnały z sondy lambda oraz z innych czujników układu wtryskowego benzyny i na ich podstawie steruje urządzeniami wykonawczymi regulującymi skład mieszanki LPG-powietrze. W najczęściej spotykanym rozwiązaniu sterowanie jest realizowane przez dławienie przepływu LPG między reduktorem a mieszalnikiem za pomocą silnika krokowego. Główne funkcje sterownika zostały opisane w części poświęconej regulacji układów zasilania LPG II generacji. Pozostałe funkcje zostały opisane poniżej.

Emulator lampki „check engine"

Popularne rozwiązanie polega na odcięciu zasilania lampki „check engine" od sterownika silnika i podłączeniu na przykład pod zasilanie lampki kontrolnej ciśnienia oleju. Bardziej „cywilizowane" rozwiązanie polega na podłączeniu przekaźnika, który odcina zasilanie lampki „check engine" podczas pracy silnika zasilanego LPG. Rozwiązanie to jest stosowane w samochodach nie wyposażonych w emulator sondy lambda lub generujących błędy sterownika silnika z innej przyczyny.

Emulatory kasujące błędy sterownika silnika

Stosowane są jako alternatywa dla używania emulatorów sondy lambda. Ich działanie polega na kasowaniu błędów przez zdjęcie napięcia ze sterownika silnika po wyłączeniu silnika. Powoduje to nie tylko kasowanie błędów lecz, zależnie od sterownika silnika, również utratę nastaw układu zasilania benzyną.

Emulatory stosowane w układach zasilania LPG przystosowanych do montażu w samochodach wyposażonych w system OBD zostały opisane w części dotyczącej OBD.

Emulator wyłączania silnika

Stosowany w samochodach o rozbudowanym układzie dolotowym. W unieruchomionym przez wyłączenie zapłonu silniku zasilanym LPG, kolektor dolotowy jest wypełniony mieszaniną palną LPG-powietrze. Przy uruchamianiu i zasilaniu benzyną, do czasu opróżnienia układu dolotowego z LPG następuje wzbogacenie mieszanki, z powodu zasilania silnika na raz obu paliwami. W celu opróżnienia układu dolotowego z LPG, emulator unieruchamia silnik przez zatrzymanie wypływu LPG.

Emulatory działające na urządzenie regulacji prędkości obrotowej biegu jałowego

Ich działanie polega na zmianie sygnału temperatury silnika – sterownik silnika interpretuje ten sygnał jako niską temperaturę silnika, otwiera zawór powietrza dodatkowego dla zwiększenia prędkości obrotowej i pozostawia go w pozycji otwartej.

Zabezpieczenie przed wychłodzeniem reduktora

Zabezpieczenie wymaga wyposażenia sterownika LPG w czujnik temperatury, montowany najczęściej na obudowie reduktora. Działanie zabezpieczenia polega na blokowaniu przełączania silnika na zasilanie LPG przed osiągnięciem zadanej temperatury oraz przełączaniu na benzynę w przypadku obniżenia się temperatury reduktora poniżej zadanej wartości.

3.2.5. Regulacja układu zasilania LPG II generacji

Układy zasilania LPG II generacji są przeznaczone do współpracy z silnikami wyposażonymi w sondę lambda, której sygnał jest używany również jako podstawowy sygnał sterujący dla sterownika układu LPG.

Wprowadzenie sondy lambda do układów zasilania zapewniło możliwość samoregulacji układów benzynowych. Dzięki temu zmiany w charakterystykach elementów składowych układów zasilania są kompensowane na bieżąco, a nie przez regulację w czasie obsługi technicznej. Cechę tę wykazują również układy zasilania LPG II generacji.

Podstawowym sygnałem do sterowania składem mieszanki w układach II generacji jest sygnał sondy lambda, zatem podstawową sprawą jest prawidłowe rozpoznanie typu sondy lambda. Sygnał z sondy przybiera różne wartości, w zależności od typu użytej sondy. Jeżeli wiadomo, jakiego rodzaju sonda występuje w silniku, to należy wprowadzić odpowiednie dane do sterownika układu zasilania LPG. Natomiast jeżeli brak jest tych danych, to w celu ustalenia rodzaju sondy należy zmierzyć napięcie w jej przewodzie sygnałowym podczas pracy silnika ze stałą prędkością obrotową, zasilanego benzyną[28]. Niektóre sterowniki są wyposażone w funkcję pozwalającą na automatyczne wykrycie rodzaju sondy i dostosowanie parametrów sterownika do jej charakterystyki.

Sterownik układu zasilania LPG może mieć funkcję rozpoznawania rodzaju sondy oraz doboru czasu nagrzewania potrzebnego do podjęcia normalnej pracy lub może wymagać zaprogramowania tego parametru. W czasie pracy sterownika układu LPG odczytany sygnał napięciowy z sondy lambda jest porównywany z napięciem progowym, na podstawie którego oceniany jest skład mieszanki: czy jest uboga czy bogata. Sterownik układu zsilania LPG wzbogaca mieszankę LPG, jeżeli wykryje że mieszanka jest uboga, a zubaża ją jeżeli wykryje mieszankę bogatą.

Dla przykładu, jeżeli napięcie progowe wynosi 0,5 V, to napięcie wyższe będzie odczytywane przez sterownik układu LPG jako sygnał świadczący o wykryciu mieszanki bogatej, a niższe – mieszanki ubogiej. W większości sterowników brak jest dostępu do regulacji tego parametru bądź dostęp jest ograniczany, przez zabezpieczenie za pomocą klucza sprzętowego lub przez kod dostępu w programach komputerowych pozwalających przeprowadzać regulację układu zasilania gazem.

Dla regulacji sterownika, w celu uzyskania niskiej emisji toksycznych składników spalin, niezbędne jest precyzyjne doregulowanie tej wartości, szczególnie w przypadku gdy nastawy fabryczne nie dają zadowalających efektów.

---

[28] Jeżeli sonda jest pięcioprzewodowa, wówczas stosuje się odpowiednie przystawki.

Na podstawie sygnału sondy realizowana jest regulacja składu mieszanki bliska składowi stechiometrycznemu lub składowi mieszanki odpowiadającej sygnałowi z sondy lambda o wartości równej progowi decyzyjnemu[29]. Jeżeli napięcie w przewodzie sygnałowym sondy lambda świadczy o bogatej mieszance, to sterownik wysyła do elementu regulującego przepływ LPG sygnał powodujący zwiększenie dławienia, w celu zubożenia mieszanki, natomiast w przypadku wykrycia mieszanki ubogiej – sygnał zwiększający dopływ paliwa LPG.

Efektem tego działania jest ciągła oscylacja składu mieszanki wokół wartości odpowiadającej mieszance stechiometrycznej. Bardzo ważna dla właściwej pracy silnika, jak też dla właściwości ekologicznych samochodu, jest częstotliwość oraz zakres zmian składu mieszanki LPG-powietrze w czasie pracy silnika.

Sonda lambda jest umieszczona w układzie wylotowym silnika, natomiast sygnał sterujący procesem regulacji składu mieszanki działa na dawkowanie paliwa w układzie dolotowym, od chwili powstawania mieszanki do przepływu wokół sondy spalin powstałych z jej spalenia. Jeżeli sterownik otrzymuje sygnał, że mieszanka jest uboga, będzie stopniowo otwierał zawór silnikiem krokowym, co spowoduje wzbogacenie mieszanki w układzie dolotowym. Dochodzi do sytuacji, gdy mieszanka LPG-powietrze w układzie dolotowym jest bogata, lecz sterownik, odczytując sygnał z sondy lambda nadal wzbogaca mieszankę, aż do chwili gdy zawartość układu dolotowego zostaje spalona w cylindrze, a spaliny wejdą w kontakt z sondą lambda.

Czas opóźnienia zależny jest od pojemności układu dolotowego, licząc od mieszalnika do głowicy, oraz części układu wylotowego, od prędkości przepływu powietrza przez układ zasilania oraz od czasu reakcji sondy lambda i czasu zadziałania sterownika układu zasilania LPG. Opóźnienie to zmienia się zatem w zależności od konstrukcji układu dolotowego silnika oraz od miejsca montażu mieszalnika LPG i jest cechą charakterystyczną danego montażu (fot. 3.35).

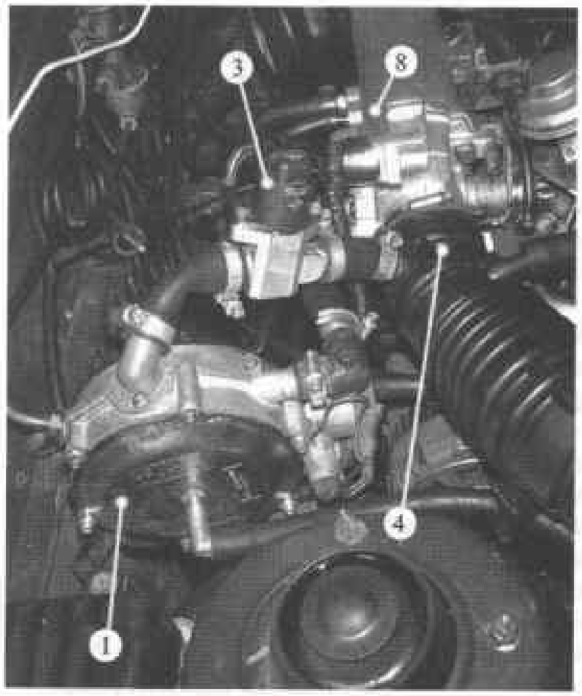
Zakres zmienności składu mieszanki LPG-powietrze zależy od prędkości sterowania otwieraniem zaworu dławiącego przez silnik krokowy. Jeżeli prędkość sterowania oraz pojemność układu dolotowego są duże, a prędkość obrotowa silnika niewielka, to podczas opóźnienia wynikającego z czasu przepływu przez układ dolotowy, silnik krokowy zdąży wykonać znaczny ruch, co skutkuje zmianami składu mieszanki odbiegającymi istotnie od wartości optymalnych (parametr B na rys. 3.33).

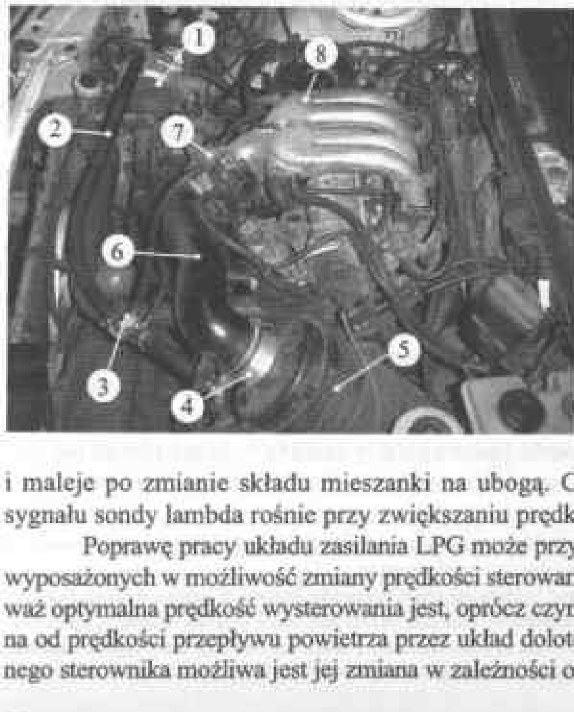
Widoczne jest to szczególnie podczas pracy silnika na biegu jałowym, gdy prędkość przepływu jest najmniejsza, a czas opóźnienia największy. Napięcie sondy lambda osiąga maksimum i jest stałe przez pewien czas, a następnie zmienia się, osiągając minimum i po pewnym czasie znów rośnie, a skład mieszanki znów wychodzi poza zakres charakterystyki liniowej sondy lambda[30]. Praca silnika nie jest równomierna. Prędkość obrotowa silnika rośnie z chwilą wzbogacenia mieszanki

---

[29] Napięcie odpowiadające stechiometrycznemu składowi mieszanki, zmienia się w czasie na skutek starzenia się sondy lambda i zmiany jej charakterystyki.

[30] Większość używanych sond lambda ma charakterystykę liniową w bardzo wąskim zakresie składu mieszanki. Zmiana składu w zakresie tej charakterystyki powoduje liniową zmianę sygnału (napięcia) sondy. Jeżeli skład mieszanki wykracza poza ten zakres, sonda lambda daje stały sygnał niezależnie od stopnia wzbogacenia lub zubożenia mieszanki.

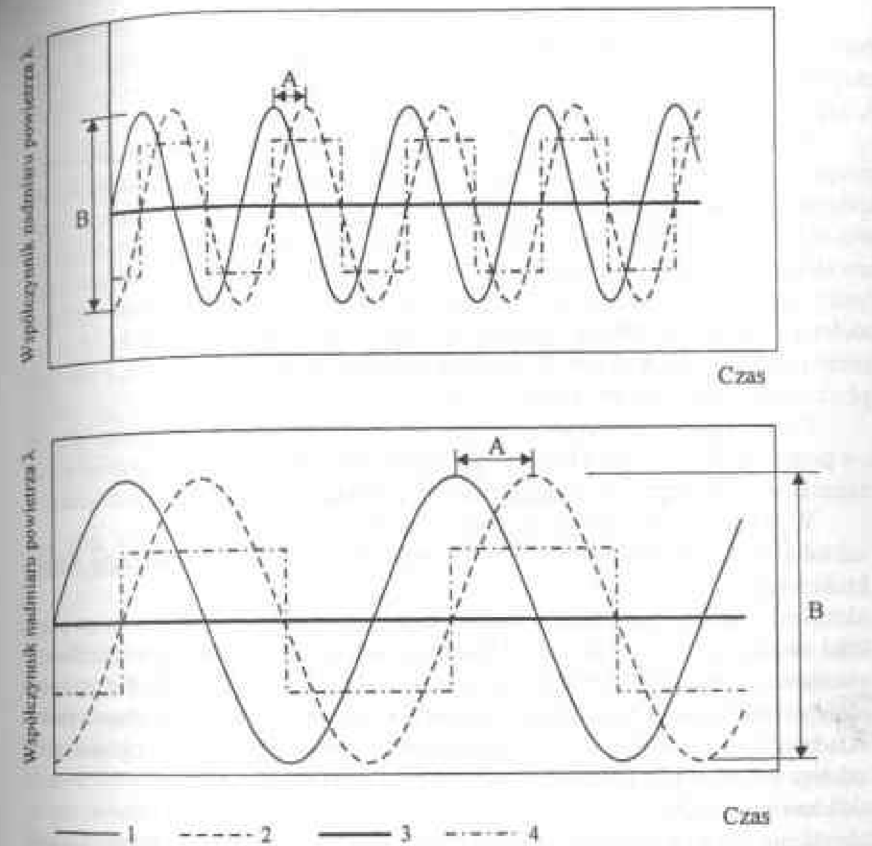




Fot. 3.35. Mała (zdjęcie górne) i duża (zdjęcie dolne) objętość układu dolotowego między mieszalnikiem i kolektorem dolotowym
1 – reduktor, 2 – przewód doprowadzający LPG do mieszalnika, 3 – silnik krokowy, 4 – mieszalnik, 5 – filtr powietrza, 6 – rura łącząca filtr powietrza z kolektorem dolotowym, 7 – przepustnica, 8 – kolektor dolotowy

i maleje po zmianie składu mieszanki na ubogą. Częstotliwość zmian napięcia sygnału sondy lambda rośnie przy zwiększaniu prędkości obrotowej silnika.

Poprawę pracy układu zasilania LPG może przynieść stosowanie sterowników wyposażonych w możliwość zmiany prędkości sterowania silnikiem krokowym. Ponieważ optymalna prędkość wysterowania jest, oprócz czynników konstrukcyjnych, zależna od prędkości przepływu powietrza przez układ dolotowy, to zależnie od zastosowanego sterownika możliwa jest jej zmiana w zależności od prędkości obrotowej silnika.



Rys. 3.33. Zmiany składu mieszanki w funkcji czasu mierzone w miejscu mocowania sondy lambda i w punkcie tworzenia mieszanki. Rysunek górny – mała objętość układu dolotowego między mieszalnikiem i kolektorem dolotowym, rysunek dolny – duża objętość
1 – skład mieszanki w punkcie jej tworzenia, 2 – skład mieszanki mierzony przez sondę lambda, 3 – skład stechiometryczny mieszanki, 4 – napięciowy sygnał z sondy lambda, A – przesunięcie, B – zakres zmian składu mieszanki

Ponadto istnieją sterowniki z możliwością oddzielnego ustawienia prędkości podczas otwierania i zamykania zaworu dławiącego.

Istnieją optymalne wartości ustawień sterownika, lecz ich uzyskanie nie jest możliwe przy użyciu sprzętu osiągalnego w warsztacie montującym, a tylko w laboratorium silnikowym wyposażonym w odpowiednią aparaturę pomiarową. Zatem regulujący układy zasilania LPG polegają na nastawach fabrycznych oraz obserwacji przebiegu sygnału sondy lambda w samochodzie, usiłując tak dobrać regulację, aby otrzymać jak największą częstotliwość sygnału z sondy lambda. Sterownik sterujący składem mieszanki zmienia pozycję silnika krokowego. Jego położenie jest określane za pomocą „kroków", które mogą przyjmować wartości od 0 – zawór całkowicie zamknięty do 255 – zawór całkowicie otwarty.

Sterownik układu LPG określa optymalne położenie silnika krokowego, na podstawie średnich wartości otwarcia związanego z nim zaworu dławiącego, podczas pracy silnika zasilanego LPG. Jest to podstawa i odniesienie w procesie regulacji, zapewniająca stabilność pracy układu zasilania LPG.

Podczas pracy układu LPG sterownik steruje położeniem zaworu silnika krokowego na podstawie sygnału o składzie mieszanki. Do stabilnej pracy układu LPG niezbędne jest, aby położenie optymalne silnika krokowego w całym zakresie prędkości obrotowych oraz obciążeń silnika było możliwie stałe. Zależne jest to od doboru elementów takich, jak mieszalnik oraz reduktor jak również od ich regulacji. Wynika z tego, że regulacja układu zasilania LPG musi być przeprowadzona na podobnej zasadzie jak układu I generacji. Sterowanie składem mieszanki LPG-powietrze przez sterownik układu II generacji powinno jedynie korygować, a nie tworzyć charakterystykę układu zasilania LPG.

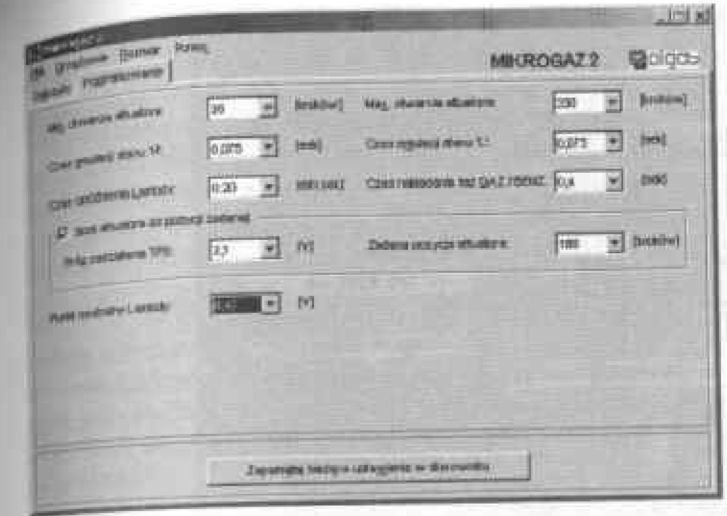
Przyjmuje się, że optymalne położenie silnika krokowego powinno mieścić się w przedziale od 50 do 100 kroków, a w czasie pracy nie powinno zmieniać się od położenia wyjściowego o więcej niż 5 do 10 kroków.

W zależności od rodzaju sterownika możliwe jest:
- zablokowanie lub odblokowanie zmian wartości domyślnej[31] położenia silnika krokowego;
- określenie zakresu „kroków", w którym może pracować silnik krokowy, na przykład między „krokiem" 60 a 68. Zawężenie zakresu pracy ogranicza możliwość sterowania układu LPG i zbliża jego działanie do układu I generacji. Początkowo wpływa to korzystnie na szybkość sterowania oraz na ograniczenie zakresu zmian składu mieszanki. W przypadku rozregulowania się układu LPG, ograniczenie zakresu pracy silnika krokowego powoduje wyczerpanie możliwości sterowania składem mieszanki;
- określenie zakresu regulacji w stosunku do wartości domyślnej. Jeżeli wartość domyślna jest zablokowana – jak w punkcie 2. Jeżeli wartość domyślna jest odblokowana działa zarówno adaptacja, jak i regulacja.

Pożądane jest, aby wartość domyślna ustawienia silnika krokowego zmieniała się podczas pracy silnika samochodu wraz ze zmianą składu paliwa, stopnia zabrudzenia filtra powietrza, zmian w charakterystyce reduktora itd. Zablokowanie powoduje ograniczenie właściwości autoadaptacyjnych układu, a po wystąpieniu zakłócenia (np. rozregulowania się reduktora), utratę stabilności pracy układu. Pełne odblokowanie może w pewnych warunkach spowodować, że na skutek zakłóceń w pracy sondy lambda bądź układu zasilania LPG, wartość domyślna osiągnie wartość uniemożliwiającą pracę silnika zasilanego LPG (wychłodzenie sondy lambda).

Położenie silnika krokowego nigdy nie powinno osiągnąć wartości granicznych, szczególnie dotyczy to stałych warunków pracy silnika, ponieważ świadczy o wyczerpaniu się możliwości regulacji składu mieszanki.

[31] Wartość domyślna położenia silnika krokowego jest to wartość, na którą ustawiany jest silnik krokowy w przypadku braku sygnału z sondy lambda (albo w razie awarii sondy lub w trakcie jej rozgrzewania).



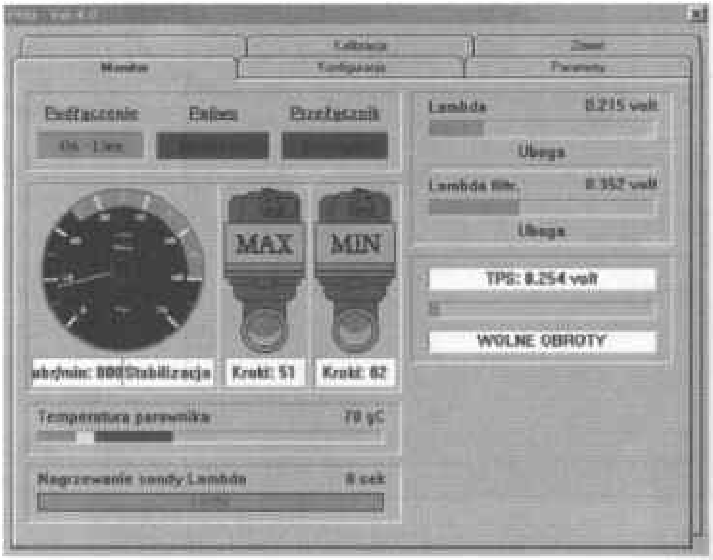
Fot. 3.36. Widok ekranu programu diagnostycznego produkcji firmy KME z widocznymi parametrami do regulacji [8]

Podstawowym warunkiem właściwej regulacji układu zasilania LPG II generacji jest prawidłowy dobór mieszalnika oraz dobór i regulacja reduktora, który zapewnia, że układ sterujący będzie zawsze miał możliwość korekcji składu mieszanki w całym zakresie pracy silnika.

Obecnie stosowane diagnoskopy układów zasilania LPG wykorzystują typowe notebooki. Sterowniki układów LPG są dostosowane do podłączenia do programu serwisującego za pomocą modemu. Program serwisowy obsługuje wszystkie ustawienia układu. Służy również do regulacji i sprawdzania poprawności pracy układu LPG.

Na monitorze przedstawione są zasadnicze dla oceny pracy silnika samochodu sygnały, takie jak:
- prędkość obrotowa silnika;
- położenie silnika krokowego;
- napięcie sondy lambda;
- wartość uśredniona napięcia sondy lambda (dotyczy części układów) – napięcie sondy lambda zmienia się dla wysokiej prędkości obrotowej silnika zbyt szybko, aby je wzrokowo ocenić. Dla oceny składu mieszanki podawana jest wartość uśredniona napięcia sondy lambda. Szybkość pracy układu zasilania LPG oceniana jest na podstawie częstotliwości zmian sygnału niefiltrowanego;
- oraz inne sygnały, jak sygnał czujnika położenia przepustnicy (TPS), temperatura reduktora LPG.

Diagnoskop jest znakomitym narzędziem oceny pracy silnika, ponieważ pokazuje parametry pracę w czasie rzeczywistym. Poprzez graficzny sposób przedstawiania parametrów pracy silnika pozwala na wzrokową ocenę poprawności dzia-



Fot. 3.37. Ekran wizualizacji pracy układu zasilania LPG

łania układu zasilania LPG. Użycie notebooka jako komputera, w którym pracuje program diagnostyczny, pozwala zarówno na prowadzenie diagnostyki oraz dobór regulacji układu LPG w warsztacie montującym, jak i w czasie jazdy samochodem.

Sprawdzenie działania układu LPG powinno obejmować regulację na postoju oraz wykonanie jazdy próbnej po drodze. Za pomocą diagnoskopu możliwa jest do wykonania diagnostyka obejmująca cały zakres pracy silnika i uwzględniająca zjawiska zachodzące podczas jazdy, takie jak na przykład zmiany ciśnienia w komorze silnika.

Właściwie dobrane i wyregulowane układy zasilania LPG II generacji dobrze dają sobie radę ze sterowaniem składem mieszanki w stałych warunkach pracy silnika. Znacznie gorzej zachowują się w nieustalonych warunkach pracy. Do polepszenia pracy w stanach nieustalonych przeznaczone są funkcje działające podczas przyspieszania oraz hamowania silnikiem.

Funkcja wzbogacania mieszanki podczas przyspieszania

Funkcja ta polega na wzbogaceniu mieszanki LPG-powietrze w celu osiągnięcia wyższej mocy. Wymaga połączenia sterownika układu LPG do czujnika położenia przepustnicy (TPS). Typ czujnika TPS może być rozpoznawany przez sterownik podczas regulacji układu LPG bądź też wprowadzony do oprogramowania sterownika układu LPG za pomocą diagnoskopu.

Jeżeli sygnał odczytywany z TPS przekroczy wartość zadaną, to w zależności od sterownika wysterowuje on otwarcie silnika krokowego do zadanego położenia lub zwiększenia otwarcia o zaprogramowaną liczbę kroków.

W czasie przyspieszania korzystne jest niewielkie wzbogacenie mieszanki, natomiast niektóre samochody bez tej funkcji ją zubażają. Nastawy dobiera się doświadczalnie.

Właściwa regulacja tej funkcji wymaga wykonania jazdy testowej, podczas której należy obserwować wskazania sondy lambda oraz położenie silnika krokowego. Istotnym utrudnieniem jest brak możliwości oceny stopnia wzbogacenia mieszanki, ponieważ diagnoskop wskazuje, że mieszanka jest bogata, lecz stopień wzbogacenia nie jest możliwy do oceny na podstawie diagnoskopu.

Odcinanie zasilania LPG podczas hamowania silnikiem

Układy wtryskowe benzyny, jak też niektóre gaźnikowe układy zasilania są wyposażone w funkcję odcinania zasilania paliwem podczas hamowania silnikiem. Funkcję tę mają również sterowniki układów zasilania LPG, a odcinanie jest realizowane przeważnie za pomocą zamknięcia zaworu dławiącego między reduktorem i mieszalnikiem.

Ogranicznik prędkości obrotowej

Funkcja aktywowana po przekroczeniu zadanej prędkości obrotowej silnika przy zasilaniu LPG. Działanie polega na przełączeniu zasilania z LPG na benzynę i wykorzystaniu ogranicznika prędkości obrotowej silnika pracującego na benzynie (realizowanego przeważnie przez wstrzymanie otwierania wtryskiwaczy benzyny przez sterownik silnika).

Silniki zasilane LPG mają przeważnie nieznacznie niższą moc niż przy zasilaniu benzyną. Dla umożliwienia korzystania z maksymalnej mocy silnika stosuje się niekiedy wyżej opisaną funkcję dla przełączania zasilania na benzynę, przy prędkości obrotowej równej ok. 90% prędkości obrotowej mocy maksymalnej. Przełączenie paliw przy pełnym obciążeniu silnika odczuwane jest jako mocne szarpnięcie układu napędowego[33)]. Przełączenie na LPG następuje po zmniejszeniu prędkości obrotowej silnika.

Przełączanie zasilania z benzyny na LPG

Przełączanie jest realizowane automatycznie po wybraniu na przełączniku trybu zasilania LPG i wystąpieniu odpowiednich warunków. Warunki przełączania są określane przez minimalną prędkość obrotową silnika, przeważnie powyżej 2000 obr/min. Prędkość obrotowa pozwala na zmagazynowanie wystarczająco dużej energii kinetycznej, która zapewnia, że silnik nie zgaśnie podczas przełączania paliw. Dobór tej prędkości powinien wynikać z obserwacji stylu jazdy osoby kierującej pojazdem i pozwalać na przełączenie na LPG możliwie szybko po rozpoczęciu jazdy samochodem.

Przełączanie w większości samochodów jest realizowane przy malejącej prędkości obrotowej, zatem następuje podczas zmiany biegów lub hamowania silnikiem.

33) Jeżeli wystąpi podczas przyspieszania przy wyprzedzaniu, odczuwane jest bardzo nieprzyjemnie.

Wyjątkiem są samochody wyposażone w automatyczną skrzynkę biegów, w których stosowane jest przełączanie przy rosnącej prędkości obrotowej.

Przełączenie zasilania z benzyny na LPG polega na przerwaniu zasilania benzyną i otwarciu zaworów odcinających LPG. Odcięcie wtrysku benzyny następuje natychmiast po włączeniu emulatora, natomiast rozpoczęcie dawkowania LPG wymaga czasu. Jeżeli odcięcie wtrysku benzyny i otwarcie zaworu LPG następuje w jednym czasie, to w efekcie przez krótki czas brak jest zasilania jakimkolwiek paliwem. W celu zapewnienia płynnego przełączenia na LPG stosuje się „czas nakładania się faz GAZ/BENZ", czyli wpierw następuje otwarcie zaworów LPG, a następnie odcięcie wtrysku. Czas „nakładania się paliw" jest regulowany w zakresie od dziesiątych części sekundy do kilku sekund.

Silniki samochodów wyposażonych w układy zasilania LPG II generacji powinny być uruchamiane przy zasilaniu benzyną. Przewidziane jest jednak, że w praktyce wiele samochodów jest uruchamiana przy zasilaniu LPG. Po uruchomieniu zimnego silnika sonda lambda nie pracuje, aż do osiągnięcia swojej minimalnej temperatury pracy. W tym czasie sterownik układu LPG nie może korzystać z sygnału sondy. Funkcja sterownika powoduje ustawienie się silnika krokowego w położeniu domyślnym, na czas potrzebny sondzie lambda do podjęcia prawidłowej pracy. Jest to funkcja ustawiana automatycznie podczas kalibracji sondy lambda lub wprowadzana ręcznie.

Wtrysk benzyny rozpoczyna się natychmiast po przywróceniu sygnału sterującego wtryskiwaczami, a wypływ LPG trwa kilka sekund po zamknięciu zaworu LPG[33]. Niektóre sterowniki układów LPG mają funkcję wydłużającą działanie emulatora sondy lambda, o czas zasilania silnika obu paliwami. Czas ten ustawiany jest doświadczalnie.

3.2.6. System diagnostyki pokładowej (OBD)

Funkcje kontroli parametrów silników spalinowych były stosowane od dawna. Ciśnienie oleju i temperatura silnika są najprostszymi parametrami kontrolnymi poprawnej pracy silnika. Wraz z zastosowaniem urządzeń sterowanych elektronicznie, w tym układu wtryskowego i zapłonowego, możliwe stało się wprowadzenie w samochodach bardziej złożonych funkcji autodiagnostyki pojazdu. Efektem działania systemów diagnostyki w przypadku wykrycia usterki przez sterownik silnika, jest generowanie błędu, który powoduje zaprogramowane działanie. Powszechnie uważa się, że błędy w sterowniku powodują natychmiastowe zapalenie się lampki „check engine" na tablicy wskaźników samochodu. Nie jest to prawdą. Producentowi samochodów zależy głównie na ich bezproblemowej eksploatacji. Informowanie kierowcy o każdej usterce samochodu nie jest zatem dla producenta działaniem pożądanym. Jeżeli samochód działa poprawnie i kierujący niczego nie zauważy, może

[33] W zależności od konstrukcji czas wypływu zmienia się w szerokich granicach. Jeżeli zawór odcinający znajduje się przed reduktorem, to wypływ będzie trwał dłużej niż w przypadku zaworu odcinającego przepływ LPG między komorami I i II stopnia reduktora.

on dojeździć do okresowego przeglądu. Kody błędów w sterowniku są zatem informacją przeznaczoną dla serwisu, nie zaś dla użytkownika pojazdu.

Jak dalece samochód może być „dyskretny" i nie informować użytkownika o usterkach, autorzy przekonali, się celowo wywołując usterki w samochodach i sprawdzając błędy w pamięci sterownika. Są samochody, które nie alarmują nawet o braku sygnału grzanej sondy lambda! Błąd w sterowniku pojawiał się niemal natychmiast po odłączeniu sondy, natomiast sprawna lampka „check engine" nie zapaliła się nawet po przejechaniu kilkudziesięciu kilometrów. Silnik natomiast przechodził na awaryjny tryb pracy, co było widoczne po wykonaniu analizy spalin.

Nie trzeba zatem dodawać, że jest to cecha lubiana i skrzętnie wykorzystywana przez zakłady montujące układy zasilania LPG.

Jak wspomniano przy opisie układu ograniczania emisji spalin, jednym z elementów jej redukcji jest kontrola samochodu w trakcie eksploatacji. Pomiary diagnostyczne (obowiązkowa kontrola w Stacji Kontroli Pojazdów) nie pozwalają na przeprowadzenia pełnej diagnostyki samochodów pod względem emisyjnym. Przez sito kontroli mogą przejść samochody z uszkodzonymi częściami układu wtryskowego, wywołującymi przy tym znaczny wzrost emisji w trakcie eksploatacji, lecz mimo to nie powodującymi wzrostu stężenia substancji w układzie wylotowym w trakcie badań kontrolnych, powyżej wartości dopuszczalnej[34].

W celu polepszenia kontroli emisją spalin w czasie eksploatacji samochodu wprowadzono, weryfikowane w procesie homologacji, wymaganie wykorzystania funkcji autodiagnostyki sterownika silnika. Prace nad budową takiego systemu i wprowadzeniem jednolitych wymagań spowodowało powstanie systemu OBD (**O**n-**B**oard **D**iagnostic system), czyli systemu diagnostyki pokładowej.

Funkcją systemu OBD jest wykrywanie i rejestrowanie w pamięci sterownika silnika informacji o niesprawnościach urządzeń ograniczających emisję, mogących spowodować jej zwiększenie powyżej umownego poziomu, jak również monitorowanie sprawności sterownika silnika zawierającego funkcje OBD. OBD ma za zadanie ostrzegać kierowcę przez zapalenie lampki MI (**M**alfunction **I**ndicator – wskaźnik niesprawności) o zagrożeniu przekroczenia dopuszczalnych wartości emisji, **przed** ich przekroczeniem.

Wprowadzono wymaganie standaryzacji oraz zakaz kodowania, zabezpieczania hasłami lub w inny sposób zabezpieczania dostępu do ściśle określonych danych ze sterownika silnika.

W celu sprawdzenia elementów silnika wykonywane są procedury OBD. Sposób wykonywania procedur OBD nie jest określony przez przepisy. Wymagane jest jedynie takie ich skonstruowanie, aby uszkodzenie lub utrata pierwotnych właściwości elementów silnika było wykryte i sygnalizowane kierowcy w określonych przez przepisy warunkach wzrostu emisji. Zatem każdy z producentów samochodu może samodzielnie zaproponować rozwiązania techniczne zapewniające spełnienie

[34] Pomiary stężenia tlenku węgla i węglowodorów wykonywane na Stacjach Kontroli Pojazdów są przeprowadzane na biegu jałowym i przy podwyższonej prędkości obrotowej biegu jałowego silnika. W tym przypadku silnik pracuje bez obciążenia. Pomiar taki nie pozwala na sprawdzenie emisji w warunkach nieustalonych, czy przy obciążeniu silnika. Więcej w rozdziale 6 w części dotyczącej emisji.

określonych przepisami warunków, w których ma nastąpić zapalenie lampki MI (Malfunction Indicator – odpowiednik Check Engine).

Kontroli OBD podlegają:

- sprawność reaktora (lub reaktorów) katalitycznego (katalizatora),
- sprawność sond lambda,
- sprawność wszystkich innych układów mogących mieć wpływ na emisję, w tym czujników, elementów wykonawczych, ciągłość obwodów itd.

Poniżej podano przykładowe procedury OBD wykonywane przez sterownik silnika, które mogą mieć wpływ na współpracę samochodu z układem zasilania LPG.

Wykrywanie wypadania zapłonów

Wypadanie zapłonów powoduje przepływ niespalonej mieszanki paliwowo-powietrznej do układu wylotowego. Mieszanka palna ulega zapaleniu w kolektorze wylotowym i pali się podczas przepływu przez reaktory katalityczne, co powoduje wywiązywanie się dużych ilości ciepła. Przegrzany reaktor katalityczny może ulec uszkodzeniu i przestaje spełniać swe zadanie lub sprawność jego działania ulega zmniejszeniu.

Aby przeciwdziałać takim przypadkom wprowadzono procedury weryfikujące występowanie spalania w cylindrach. Procedura testująca analizuje sygnał z czujnika prędkości obrotowej. W przypadku wypadania zapłonów w jednym z cylindrów chwilowa prędkość obrotowa zmniejsza się, co powinno zostać wykryte przez system OBD.

Warunki zainicjowania przeskoku iskry są trudniejsze przy zasilaniu silnika LPG, niż w przypadku zasilania benzyną. Tak więc dla danego samochodu, a zatem tej samej instalacji zapłonowej, bardziej prawdopodobne jest wystąpienie błędu podczas zasilania silnika LPG niż benzyną.

Procedury kontroli działania reaktora katalitycznego

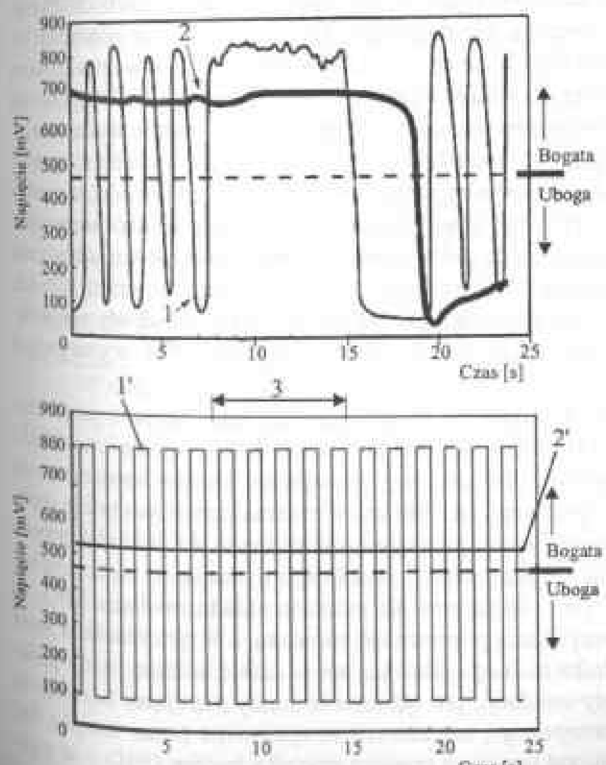
Dla kontroli działania reaktora katalitycznego wyposaża się układy wylotowe w dwie sondy lambda. Pierwsza sonda lambda, montowana przed reaktorem katalitycznym, omywana jest spalinami uchodzącymi z silnika i nazywana jest sondą sterującą. Druga sonda lambda, zamontowana za reaktorem katalitycznym, nazywana jest sondą kontrolną[35].

Prawidłowe utrzymywanie składu stechiometrycznego mieszanki polega na takim sterowaniu czasem otwarcia wtryskiwaczy, aby chwilowy skład mieszanki zmieniał się między ubogim i bogatym z możliwie dużą częstotliwością, zatem typowy przebieg sygnału sondy sterującej niczym nie różni się od pracy sondy lambda stosowanej w układach sterowania nie wyposażonych w OBD. W warunkach sterownia składem mieszanki bliskim stechiometrycznego, sygnał wyjściowy jest zbliżony do sinusoidy, natomiast sygnał sondy kontrolnej jest zależny od stanu technicznego reaktora katalitycznego.

[35] Nie jest to nazewnictwo całkowicie poprawne, ponieważ sonda kontrolna może, choć nie musi, brać udział w sterowania składem mieszanki, jak również w sprawdzaniu poprawności pracy sondy sterującej.

Wielofunkcyjny reaktor katalityczny ma właściwość pochłaniania tlenu w chwili, gdy jest go dużo w przepływających przez reaktor spalinach (mieszanka uboga) i oddawania, gdy jego stężenie się zmniejsza, czyli dla spalin pochodzących ze spalenia mieszanki bogatej. Przy prawidłowej pracy reaktora przebieg sygnału sondy lambda umieszczonej za reaktorem jest zbliżony do linii prostej. Jeżeli reaktor katalityczny nie działa, na przykład jest zniszczony z powodu przegrzania, to przebieg stężenia tlenu w czasie za reaktorem jest zbliżony do stężenia przed reaktorem katalitycznym; zatem przebieg sygnałów obu sond będzie zbliżony, opóźniony jedynie o czas potrzebny do przepływu spalin między sondami. Działanie reaktora powoduje zatem zmianę stężenia tlenu w spalinach przepływających przez reaktor katalityczny, a w rezultacie zmianę sygnału drugiej sondy lambda. Utrata sprawności reaktora katalitycznego może być wykryta na podstawie analizy sygnału obu sond lambda.

Powyższe stwierdzenie dotyczy prawidłowej pracy układu zasilania, zapewniającego stałe oscylacje składu mieszanki wokół stechiometrycznego, z częstotliwością zapewniającą optymalne warunki pracy reaktora katalitycznego. Praca silnika zasilanego mieszanką bogatą lub ubogą, wykraczającą poza użytkowe pole pracy sondy lambda, powoduje otrzymywanie stałego sygnału na obu sondach.



Rys. 3.34. Procedura diagnostyczna sprawności reaktora katalitycznego (górny wykres) i przebieg emulowanych sygnałów sond lambda
1 – sygnał sterującej sondy lambda, 2 – sygnał kontrolnej sondy lambda, 1' – emulowany sygnał sterującej sondy lambda, 2' – emulowany sygnał kontrolnej sondy lambda, 3 – obszar, w którym emulowany sygnał sterującej sondy lambda zostanie zinterpretowany przez system OBD jako błędny, co spowoduje wygenerowanie błędu

Na rys. 3.34 przedstawiono sposób przeprowadzenia procedury sprawdzającej sprawność reaktora katalitycznego. Typowy przebieg sygnałów sond lambda podczas sterowania składem mieszanki w zakresie mieszanek stechiometrycznych, jest przedstawiony z lewej strony rysunku. Sonda sterująca generuje sygnał zbliżony do sinusoidy, natomiast sonda kontrolna sygnał stały.

Dla sprawdzenia reaktora katalitycznego sterownik silnika wydłuża czas otwarcia wtryskiwaczy, w celu wysterowania mieszanki bogatej na czas potrzebny do „odebrania" tlenu z reaktora katalitycznego, a następnie zubaża mieszankę paliwowo-powietrzną, powodując pojawienie się tlenu w spalinach. Reaktor katalityczny chłonie tlen do momentu nasycenia. Im więcej tlenu jest w stanie pochłonąć, tym później wystąpi wzrost stężenia tlenu za reaktorem. Przesunięcie sygnałów obu sond jest miarą pojemności tlenowej reaktora, a zatem sygnałem diagnostycznym oceny starzenia reaktora.

W przypadku włączenia do pracy układu zasilania LPG i odcięcia sond lambda, przebieg sygnałów czytanych przez sterownik silnika wynika z zastosowanych sygnałów zastępczych generowanych przez emulatory sond lambda.

W przedstawionym przykładzie, sygnał pierwszej sondy lambda emulowany jest przebiegiem kwadratowym, natomiast drugiej – napięciem stałym.

Jeżeli system OBD poprzestaje na monitorowaniu częstotliwości sygnałów, to uzna że układ zasilania pracuje poprawnie i nie zanotuje błędu. Jeżeli OBD będzie wykonywał aktywne funkcje diagnostyczne, jak przedstawiona powyżej, to natychmiast wychwyci jako błąd brak zgodności przebiegu sygnałów z wzorcem zapisanym w pamięci sterownika silnika i przejdzie na tryb awaryjny. Dotychczas stosowane podłączanie generatorów sygnałów zastępczych nie będzie skuteczne.

Inne obwody i czujniki odpowiedzialne za pracę układu zasilania i ograniczanie emisji są sprawdzane co najmniej przez kontrolę ciągłości obwodu, a czasami również przez testy dynamiczne wykonywane przez sterownik silnika samochodu. Testy te są tworzone na podstawie badań producentów samochodów, a dziedzina ta rozwija się wraz z rozwojem nowoczesnych czujników oraz osprzętu silnika. W związku z tym będą w coraz większej liczbie produkowane samochody sprawiające kłopot podczas montażu i eksploatacji układów zasilania LPG, wymagające stosowania emulatorów.

Błędy nie zawsze są wykazywane bezpośrednio po ich wykryciu przez sterownik. Zapalenie lampki MI nastąpi dopiero po potwierdzeniu wystąpienia błędu określoną liczbę razy. Dopuszczalne jest, aby wystąpienie błędów spowodowało zapalenie się lampki MI po przebiegu ok. 100 km w znormalizowanym teście jezdnym na hamowni podwoziowej, zatem w eksploatacji można w skrajnie niekorzystnych warunkach spodziewać się przejechania podobnego dystansu do momentu sygnalizacji błędu. Jest to o tyle niekorzystne dla montażu układu zasilania LPG, że nie zawsze jest możliwa weryfikacja poprawności montażu, a w tym emulacji sond lambda, w czasie pracy silnika na biegu jałowym ani w czasie krótkiej jazdy próbnej. Nawet ewidentne błędy emulacji, jak odłączenie sondy sterującej bez użycia jakiegokolwiek sygnału zastępczego, nie zawsze są ujawniane przez lampkę MI natychmiast po wystąpieniu ani nawet za pomocą czytnika kodów OBD – w rejestrze błędów oczekujących ani potwierdzonych. Zwłoka ta stanowi zabezpieczenie samochodu przed wystąpieniem fałszywych alarmów.

Z tego samego powodu dopuszczalne jest, aby OBD nie wykonywał swych funkcji, gdy (producent może nie skorzystać z tej opcji):
- w zbiorniku paliwa jest poniżej 20% ilości paliwa,
- temperatura powietrza jest poniżej –7°C,
- samochód jest powyżej 2500 m ponad poziomem morza (ciśnienie powietrza).

Jeżeli producent samochodu skorzystał z tej opcji, to stanowi to znakomitą okazję do „obezwładnienia" systemu OBD.

Poziom paliwa określany jest na podstawie sygnału czujnika poziomu paliwa. Wykorzystanie go polega na rozcięciu przewodu sygnałowego czujnika paliwa i włączeniu w szereg rezystora. Za pomocą potencjometru regulowany jest sygnał zastępczy, świadczący o bardzo niskim poziomie benzyny w zbiorniku paliwa. Podczas zasilania silnika LPG, na tablicy wskaźników wskazywany jest niski poziom paliwa (benzyny). W chwili przełączenia na zasilanie benzyną następuje automatyczne przełączenie i powrót do właściwego działania czujnika poziomu paliwa (benzyny).

Jak zatem widać możliwe są dwie koncepcje doboru układu zasilania LPG do samochodu wyposażonego w OBD:
- układ LPG pracujący pod kontrolą sterownika silnika, nie wymagający stosowania tzw. emulatorów OBD, stosowany szczególnie w trudnych do „oszukania" samochodach[36],
- układ LPG sterujący składem mieszanki palnej niezależnie od sterownika silnika, wykorzystujący niezbędne w tym przypadku emulatory sond lambda jak również emulatory OBD.

Do wykasowania błędów niezbędny jest czytnik kodów błędów OBD lub cierpliwość. Zgodnie z wymaganiami Regulaminu 83.05 EKG ONZ, błąd jest usuwany z pamięci sterownika w przypadku, gdy po jego potwierdzeniu i zapaleniu lampki MI wystąpi 40 cykli rozgrzewania silnika, a błąd nie wystąpi powtórnie. Wygaszenie lampki MI może nastąpić wcześniej.

[36] Niekiedy w tym przypadku niezbędne jest skorzystanie z emulatorów OBD.

ROZDZIAŁ 4

Wtryskowe układy zasilania LPG

4.1. Układy zasilania LPG III generacji

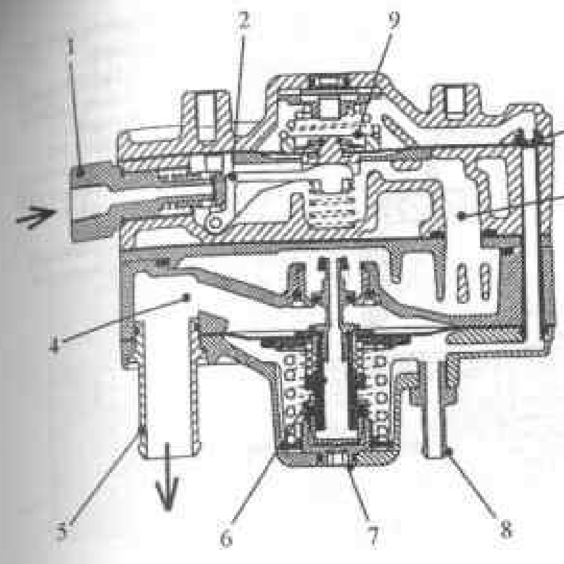
Układy zasilania LPG III generacji powstały jako reakcja na postęp techniczny w dziedzinie konstrukcji silników. Przez 60 lat rozwoju, układ mieszalnikowy (I i II generacji) osiągnął szczyt swych możliwości technicznych, lecz jego wady stawały się coraz bardziej widoczne w zetknięciu z nowoczesnymi silnikami.

Problemy dotyczą głównie „strzałów" (patrz rozdział 6). Rozwiązaniem stało się wprowadzenie paliwa LPG do kolektora dolotowego w niewielkiej odległości od głowicy silnika, tak jak ma to miejsce w wielopunktowym wtrysku benzyny. Jak wykazano w rozdziale 3, do sterowania dawkowaniem paliwa LPG sygnał podciśnienia w kolektorze dolotowym pod przepustnicą nie jest wystarczający, zatem wykorzystanie zasady działania układów mieszalnikowych, w tym przypadku nie jest możliwe.

4.1.1. Reduktory układów zasilania LPG III generacji

W układach LPG III generacji stosowane są reduktory dwustopniowe. Pierwszy stopień regulacji ciśnienia (3, rys. 4.1) jest wykorzystywany jako parownik, w którym LPG w fazie ciekłej rozpręża się do ciśnienia 160 kPa (ok. 260 kPa ciśnienia absolutnego) oraz zmienia stan skupienia z ciekłego w gazowy. Drugi stopień reduktora (4) jest wykorzystywany do utrzymywania stałej różnicy ciśnień o wartości ok. 95 kPa między ciśnieniem na wyjściu z reduktora, a ciśnieniem w kolektorze dolotowym. Wymaga to stosowania reduktora pracującego w pętli kompensacji ciśnienia, z przewodem kompensacyjnym (8) dołączonym do przestrzeni pod przepustnicą w układzie dolotowym silnika. Ciśnienie absolutne na wyjściu z reduktora zmienia się więc od ok. 130 kPa na biegu jałowym, do ok. 190 kPa przy pracy silnika z pełną mocą.

Tak jak w innych reduktorach, pełniących również rolę parowników, niezbędne jest ogrzewanie paliwa LPG dla przeciwdziałania wychłodzeniu urządzenia



Rys. 4.1. Reduktor dwustopniowy firmy Koltec
1 – króciec wlotowy LPG, 2 – zawór regulacji ciśnienia w komorze I stopnia, 3 – komora I stopnia, 4 – komora II stopnia, 5 – króciec wylotowy LPG, 6 – zawór regulacji ciśnienia II stopnia, 7 – śruba regulacji różnicy ciśnień między komorą II stopnia a kolektorem dolotowym, 8 – króciec do podłączenia przewodu kompensacyjnego, 9 – nadciśnieniowy zawór bezpieczeństwa, 10 – dysza

i zapewnienia odparowania LPG. Do ogrzewania reduktora wykorzystywana jest ciecz z układu chłodzenia silnika.

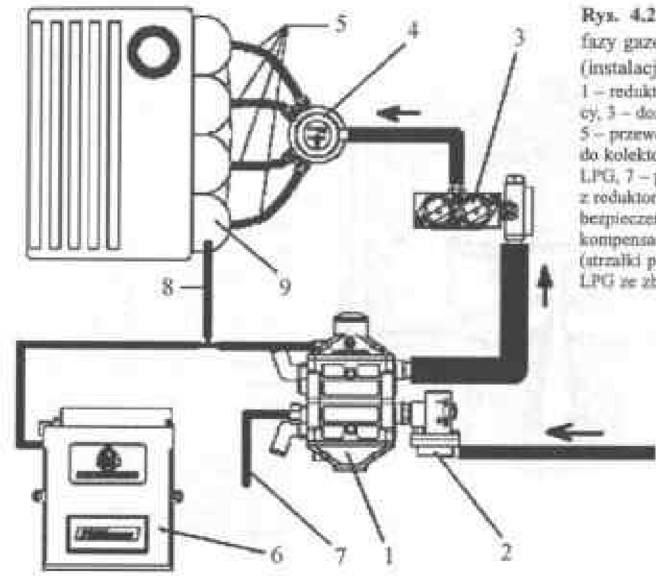
Reduktor jest wyposażany w czujnik temperatury połączony ze sterownikiem układu LPG oraz w nadciśnieniowy zawór bezpieczeństwa (9), zabezpieczający go przed wzrostem ciśnienia powyżej 350 kPa.

Zalecenia montażowe reduktora są podobne jak w przypadku reduktora układów zasilania LPG I i II generacji z tym wyjątkiem, że nie jest istotne położenie reduktora w stosunku do osi samochodu. W większości przypadków montuje się reduktor komorą II stopnia regulacji do góry. Z racji stosunkowo wysokiego ciśnienia na wyjściu oraz pracy w układzie kompensacji ciśnienia, reduktor jest nieczuły na ciśnienie wywołane przez napór powietrza.

4.1.2. IGS – instalacja wtrysku fazy gazowej firmy Landi Renzo

Jako przykład ilustrujący powszechnie stosowane rozwiązania układów zasilania LPG III generacji przedstawiono instalację IGS firmy Landi Renzo.

Jest to instalacja wtrysku ciągłego do kolektora dolotowego, przeznaczona do montażu w dowolnym samochodzie wyposażonym w sondę lambda. Instalacja wymaga stosowania emulatorów sondy (sond) lambda jak również emulatorów OBD. Instalacja jest zasilana paliwem LPG pod ciśnieniem panującym w zbiorniku. Gaz ze zbiornika przepływa przewodem przez filtr paliwa oraz zawór (zawory) odcinający (2, rys. 4.2) do reduktora (1). Zadaniem reduktora jest zamiana fazy ciekłej LPG w gazową oraz utrzymywanie na wyjściu stałego nadciśnienia w stosunku do ciśnienia pod przepustnicą. Paliwo LPG w fazie gazowej przepływa do dozatora (3), który steruje natężeniem przepływu paliwa LPG. Następnie w dystrybutorze (4) pa-



Rys. 4.2. Schemat układu wtrysku fazy gazowej III generacji (instalacja IGS firmy Landi Renzo) 1 – reduktor, 2 – elektrozawór odcinający, 3 – dozator, 4 – dystrybutor, 5 – przewody doprowadzające LPG do kolektora dolotowego, 6 – sterownik LPG, 7 – przewód wyprowadzający LPG z reduktora po zadziałaniu zaworu bezpieczeństwa, 8 – przewód kompensacyjny, 9 – kolektor dolotowy (strzałki pokazują kierunek przepływu LPG ze zbiornika do silnika)

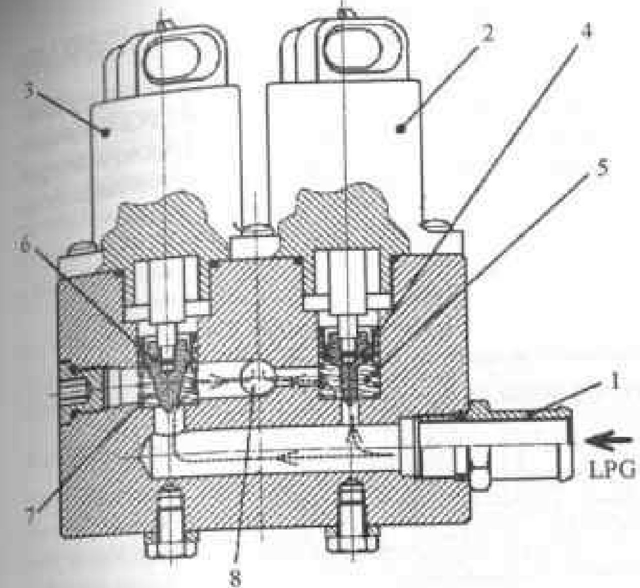
liwo LPG zostaje rozdzielone na poszczególne cylindry i przewodami (5) dostaje się do wtryskiwaczy, z których wpływa do każdego z odgałęzień kolektora dolotowego (9).

Instalacja IGS jest przeznaczony do zasilania silników zarówno paliwem LPG, jak i metanem (naturalnie po wymianie reduktora LPG na reduktor przeznaczony do metanu, przystosowany do wielokrotnie wyższego ciśnienia zasilania).

Dozator

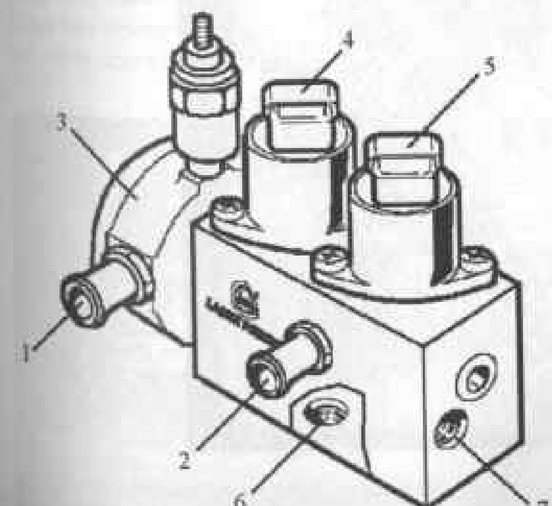
Dozator służy do regulacji natężenia przepływu LPG przez układ zasilania, jest zatem urządzeniem sterującym składem mieszanki LPG-powietrze. Jego działanie polega na dławieniu przepływu paliwa z reduktora do dystrybutora. W korpusie dozatora wykonane są dwa kanały połączone z wlotem i wylotem paliwa w ten sposób, że jest możliwy jego przepływ przez oba kanały jednocześnie. W każdym z kanałów pracuje zawór dławiący sterowany za pomocą silnika krokowego (2, 3 – rys. 4.3), działającego na identycznej zasadzie jak w układach LPG II generacji. Jeden z kanałów służy do regulacji składu mieszanki silnika pracującego na biegu jałowym i przy niewielkich mocach rozwijanych przez silnik (niewielkie prędkości obrotowe oraz niewielkie otwarcie przepustnicy). Drugi kanał wykorzystywany jest do sterowania składem mieszanki w warunkach rozwijania przez silnik większych mocy oraz podczas przyspieszania.

Na wlocie LPG do dozatora umieszczony jest elektrozawór odcinający dopływ paliwa LPG do silnika (3, rys. 4.4). Spełnia on następujące funkcje:
- zamykanie dopływu gazu przy wyłączonym silniku, w celu uniknięcia wypływu LPG z parownika po wyłączeniu zapłonu;



Rys. 4.3. Dozator (instalacja IGS firmy Landi Renzo)
1 – króciec wlotowy LPG, 2, 3 – silnik krokowy, 4, 6 – iglica, 5, 7 – sprężyna, 8 – kanał wylotowy LPG (strzałkami zaznaczono kierunek przepływu LPG przez dozator)

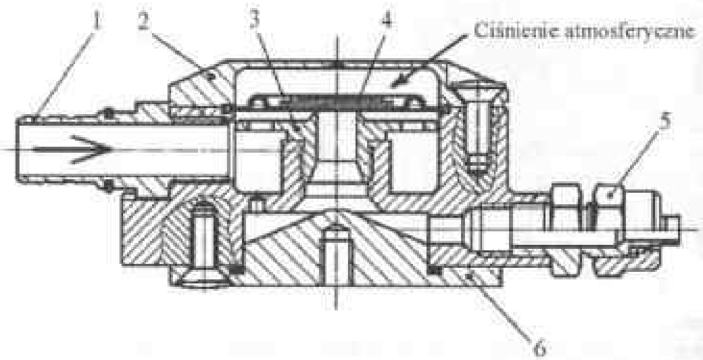
- wypełnienie przewodów doprowadzających gaz do wtryskiwaczy przez chwilowe otwarcie w chwili uruchamiania silnika;
- odcinanie dopływu gazu przy hamowaniu silnikiem;
- zabezpieczenie silnika przed przekroczeniem maksymalnej prędkości obrotowej przy zasilaniu gazem, przez odcięcie jego dopływu do kolektora dolotowego;



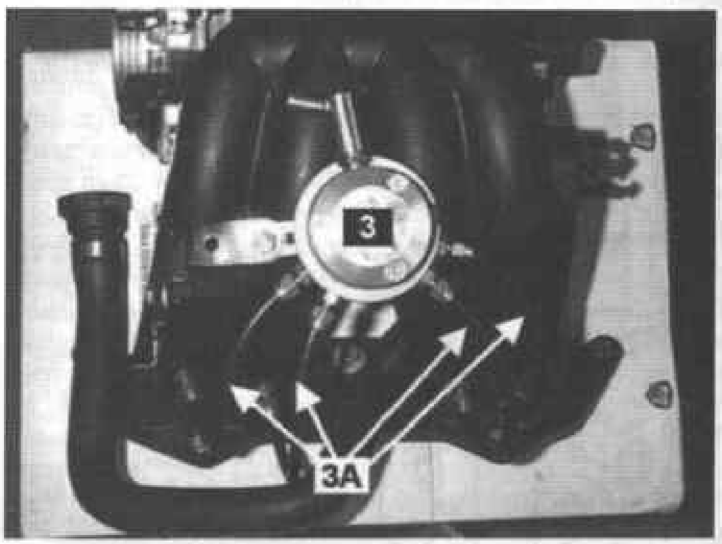
Rys. 4.4. Widok dozatora (instalacja IGS firmy Landi Renzo) 1 – króciec wlotowy LPG, 2 – króciec wylotowy LPG, 3 – elektrozawór odcinający, 4, 5 – silniki krokowe, 6 – wylot cieczy chłodzącej, 7 – wlot cieczy chłodzącej

– zapewnienie otwarcia lub zamknięcia dopływu paliwa LPG podczas zmiany zasilania.

Do dozatora mogą być podłączone przewody doprowadzające ciecz z układu chłodzenia (6, 7 – rys. 4.4). Pozwala to dodatkowo podgrzewać LPG. Rozwiązanie takie stosowane jest w instalacjach przeznaczonych na rynki krajów, w których występują mroźne zimy. Dozator montowany jest do stałych elementów samochodu i chroniony przed wibracjami.



Rys. 4.5. Dystrybutor (instalacja IGS firmy Landi Renzo)
1 – króciec wlotowy LPG, 2 – pokrywa górna, 3 – tuleja, 4 – zawór, 5 – króciec wylotowy (liczba zależna od liczby cylindrów), 6 – pokrywa dolna



Fot. 4.1. Dystrybutor z przewodami gazowymi zamontowany na kolektorze dolotowym
3 – dystrybutor, 3A – przewody gazowe

Dystrybutor

Jest to urządzenie rozdzielające paliwo do poszczególnych cylindrów). Dodatkowo znajduje się w nim zawór (4, rys. 4.5) utrzymujący stałą różnicę ciśnień między wejściem a wyjściem z dystrybutora.

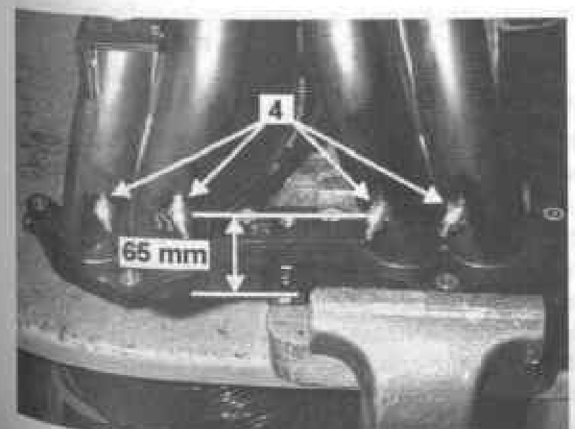
Paliwo LPG dopływa do dystrybutora przewodem wychodzącym z dozatora. W obudowę dystrybutora wkręcane są króćce wylotowe (5). W zależności od liczby cylindrów silnika, odpowiednia liczba wyjść jest podłączana do wtryskiwaczy, a pozostałe zaślepiane.

Dystrybutor powinien zostać zamontowany w komorze silnika blisko miejsca wprowadzenia paliwa do kolektora dolotowego, czyli blisko wtryskiwaczy (fot. 4.1). Urządzenie jest nieczułe na wibracje, co umożliwia jego montaż do elementów silnika.

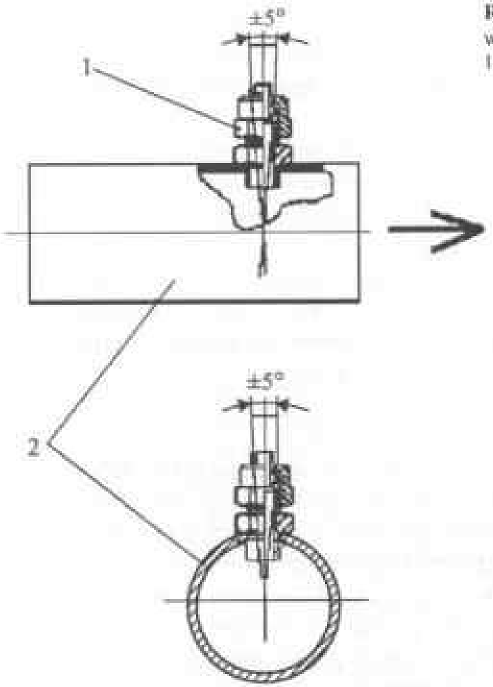
Wtryskiwacze

Wtryskiwacze są wykonane jako tulejki z gwintem do osadzenia w kolektorze dolotowym. Warunkiem dobrej pracy silnika jest wytworzenie mieszanki palnej o zadanym współczynniku nadmiaru powietrza, a ponadto o tym samym współczynniku nadmiaru powietrza w każdym z odgałęzień kolektora dolotowego. Znaczne różnice składu mieszanki między cylindrami mogą spowodować zwiększenie obciążenia silnika i szybsze jego zużycie. Warunkiem równego podziału strumienia LPG w instalacji IGS, jest zachowanie takich samych przepływów gazu przez każdy z przewodów łączących dystrybutor z wtryskiwaczami. Wymaga to zachowania tego samego ciśnienia na wylocie z wtryskiwaczy oraz zapewnienia identycznej charakterystyki dławienia przepływu przez zespół wtryskiwacz-przewód łączący go z dystrybutorem.

Spełnienie tego warunku wymaga zachowania tej samej odległości między miejscem osadzenia wtryskiwacza a głowicą silnika, we wszystkich odgałęzieniach kolektora dolotowego (fot. 4.2). W instrukcji montażu znajduje się wymaganie, aby wtryskiwacze były montowane prostopadle do ścianki kanału dolotowego z toleran-



Fot. 4.2. Kolektor dolotowy z zamontowanymi wtryskiwaczami (zdjęcie pochodzi z technologii montażu wtryskiwaczy – należy zwrócić uwagę na wymóg zachowania jednakowej odległości wtryskiwaczy od płaszczyzny kolektora dolotowego)



Rys. 4.6. Wtryskiwacz i sposób jego montażu w kolektorze dolotowym
1 – wtryskiwacz, 2 – kolektor dolotowy

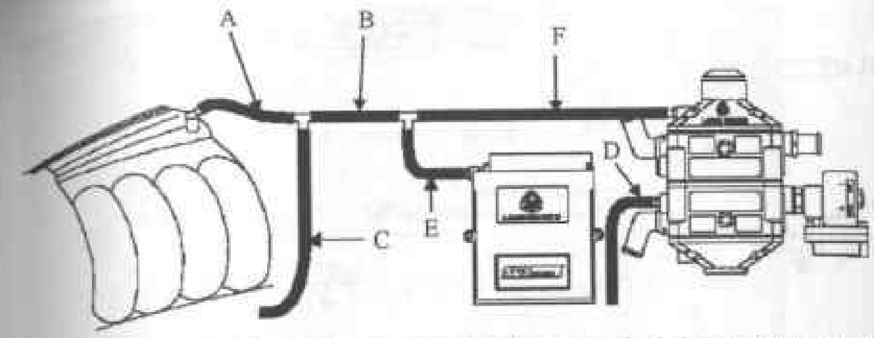
cją ±5° (rys. 4.6). Ma to na celu niedopuszczenie do powstania różnic ciśnienia na wylocie wtryskiwacza, co może nastąpić w przypadku, gdy wtryskiwacze byłyby zamontowane pod różnymi kątami w stosunku do kierunku przepływu strumienia powietrza przez kolektor dolotowy.

Spełnienie warunku jednakowych spadków ciśnienia osiągane jest przez zachowanie jednakowej długości przewodów łączących wtryskiwacze z dystrybutorem i prowadzenie ich w sposób niedopuszczający do załamań pod ostrym kątem oraz montaż identycznych wtryskiwaczy. Przewody muszą być ponadto wolne od zanieczyszczeń.

Sterowanie składem mieszanki

Sterowanie składem mieszanki LPG-powietrze jest realizowane przez zmianę stopnia dławienia przepływu paliwa przez dozator. Silniki krokowe otwierające i przymykające zawory dławiące, są sterowane przez sterownik układu zasilania LPG. W jego pamięci zapisana jest dwuwymiarowa mapa wtrysku, która zawiera optymalne stopnie otwarcia zaworów w zależności od podciśnienia w układzie dolotowym oraz prędkości obrotowej silnika. Mapa ta jest podstawą działania regulacji.

Sygnał prędkości obrotowej jest pobierany przez dołączenie sterownika do przewodów elektrycznych układu zapłonowego, natomiast sygnał ciśnienia jest pobierany z czujnika podciśnienia w kolektorze dolotowym („MAP sensor"), wbudowanego w sterownik układu LPG. Czujnik jest połączony z kolektorem dolotowym



Rys. 4.7. Podłączenie czujnika podciśnienia w kolektorze dolotowym do elementów układu zasilania LPG (instalacja IGS firmy Landi Renzo)
A, B – przewody podciśnieniowe, C – przewód podciśnieniowy do czujnika podciśnienia (układu wtryskowego benzyny – MAP), D – przewód odprowadzający LPG z reduktora po zadziałaniu zaworu nadciśnieniowego, E – przewód podciśnieniowy do sterownika układu LPG, F – przewód podciśnieniowy do reduktora

za pomocą przewodów podciśnieniowych i działa niezależnie od układu pomiarowego przepływu powietrza w układzie dolotowym silnika (rys. 4.7).

Do sterownika układu zasilania LPG dołączona jest sonda lambda, której sygnał służy do oceny składu mieszanki (rys. 4.8). Ostateczne wysterowanie dozatora jest wynikiem współpracy sterownika z sondą lambda przez wprowadzanie – w oparciu o sygnał z sondy lambda – korekt w sterowaniu zaworami dławiącymi.

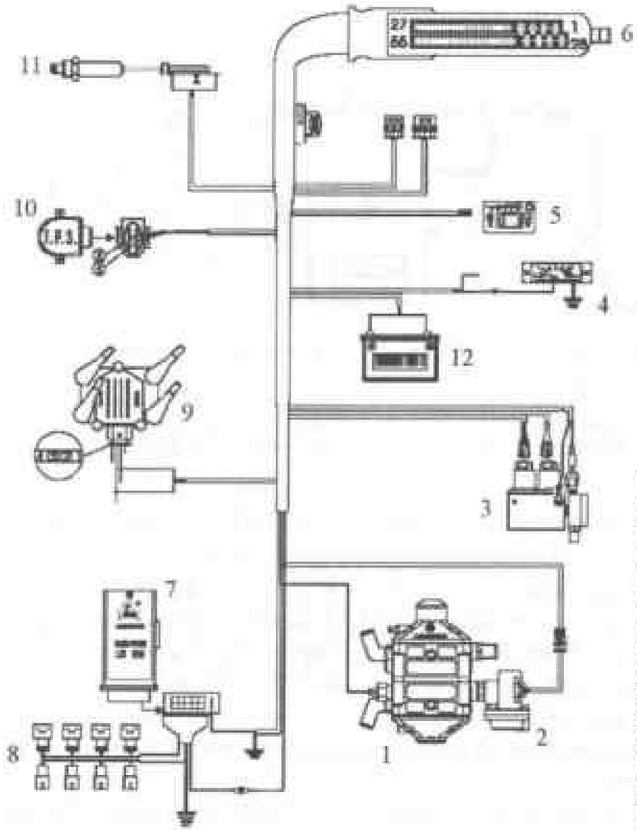
Działanie sterownika instalacji IGS zależy od ustawień parametrów pracy, które są modyfikowane przez serwis za pomocą diagnoskopu podłączanego do złącza serwisowego sterownika.

Mapa sterowania wtryskiem jest wgrywana do pamięci sterownika podczas uruchamiania instalacji IGS. Diagnoskop oferuje różne metody opracowania mapy wtrysku. Dla samochodów powszechnie spotykanych, jako podstawę wykorzystuje się mapę opracowaną przez producenta instalacji dla danego samochodu.

W przypadku braku opracowanej mapy można uruchomić funkcję diagnoskopu umożliwiającą wykonanie mapy w czasie pracy silnika. Polega to na tym, że podczas pracy silnika ze stałą prędkością obrotową ustalane są (na podstawie sygnału z sondy lambda) optymalne ustawienia silników krokowych, które następnie wpisywane są do nowo tworzonej mapy. Zmieniając prędkość obrotową oraz obciążenie silnika umożliwia się „mapowanie" całego pola pracy silnika. Otrzymana tablica może być również wpisywana ręcznie z klawiatury komputera diagnostycznego.

Mapa może być modyfikowana bez ograniczeń, dowolną ilość razy aż do uzyskania zadowalającej pracy silnika. Otrzymane wyniki można zapisać w pamięci diagnoskopu, tworząc własne bazy ustawień sterownika, i używać ich do uruchomiania instalacji IGS montowanych w innych egzemplarzach samochodów danego typu.

Sterownik układu LPG umożliwia dokonanie automatycznej zmiany parametrów mapy na podstawie sygnału z sondy lambda, podczas normalnej eksploata-

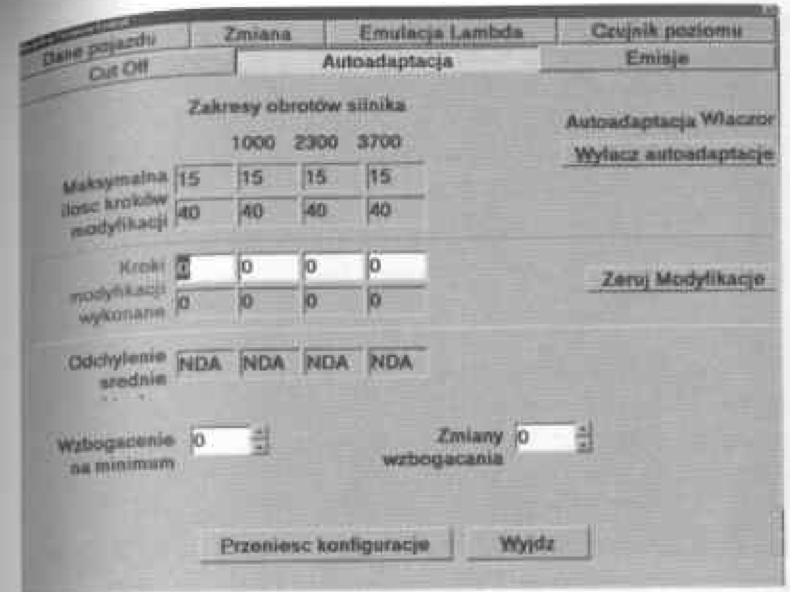


Rys. 4.8. Schemat połączeń elektrycznych instalacji IGS firmy Landi Renzo
1 – reduktor, 2 – elektrozawór odcinający, 3 – dozator, 4 – czujnik poziomu paliwa w zbiorniku LPG, 5 – przełącznik wyboru paliwa, 6 – złącze sterownika układu LPG, 7 – emulator wtrysku, 8 – wiązka przewodów elektrycznych wtryskiwaczy benzyny, 9 – cewka zapłonowa, 10 – czujnik położenia przepustnicy, 11 – sonda lambda, 12 – akumulator

cji samochodu. Zakres możliwych do uwzględnienia zmian jest zależny od ustawień sterownika. Istnieje opcja zablokowania możliwości zmian mapy lub określenie zakresu zmian ustawień mapy.

Zmiana składu paliwa LPG użytego do napędu samochodu bądź inne zakłócenia wpływające na pracę układu zasilania, powodują zmiany optymalnych ustawień mapy. Funkcja „autoadaptacja" pozwala na wprowadzanie zmian ustawień, odpowiednich dla zmieniających się warunków pracy układu zasilania LPG. Średnie wartości korekcji ustawień silników krokowych w dozatorze, przyjęte w czasie pracy silnika, są wprowadzane w granicach określonych przez ustawienie sterownika układu LPG do mapy wtrysku, przez cały czas pracy silnika.

Dla polepszenia pracy silnika w stanach nieustalonych, można aktywować funkcję wzbogacania mieszanki paliwowo-powietrznej przy przyspieszaniu samochodu. Jest ona uruchamiana przez sygnał z czujnika otwarcia przepustnicy. Działanie polega na większym, niż wynikające z mapy wtrysku, otwarciu zaworów dławiących w dozatorze i wzbogaceniu w ten sposób składu mieszanki. Stopień zwiększenia otwarcia jest programowany podczas uruchamiania układu. Funkcja działa



Fot. 4.3. Obraz programu diagnostycznego z widocznymi parametrami funkcji „autoadaptacja"

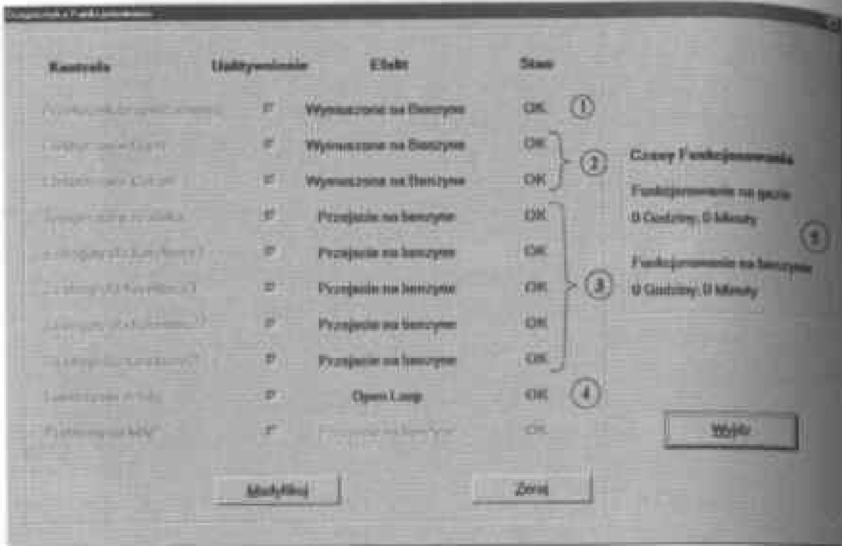
również przy całkowicie otwartej przepustnicy, zwiększając maksymalne osiągi silnika.

Podczas hamowania silnikiem istnieje możliwość zatrzymania wypływu paliwa do układu dolotowego silnika, przez zamknięcie zaworu odcinającego znajdującego się na wejściu do dozatora.

Przełączanie rodzaju zasilania jest możliwe, jeżeli temperatura reduktora przekroczy wartość 25°C (wartość standardowa). Funkcja ta umożliwia ustawienie:
- temperatury reduktora, powyżej której możliwe jest przełączenie rodzaju paliw z benzyny na LPG;
- czasu „nakładania się" paliw (czasu, w którym silnik zasilany jest benzyną, a układ zasilania LPG rozpoczyna pracę) – prawidłowe ustawienie zapewnia płynną zmianę paliw;
- zablokowanie bądź odblokowanie możliwości przełączenia paliw przed nagrzaniem sondy lambda;
- prędkości obrotowej silnika, powyżej której możliwe jest przełączenie zasilania;
- czy przełączenie nastąpi przy prędkości obrotowej wzrastającej, czy malejącej;
- prędkości maksymalnej, po przekroczeniu której następuje przełączenie zasilania na benzynę.

Ustawianie emulacji sondy lambda pozwala na dobór właściwego sygnału zastępczego, a nawet generowanie dowolnego przebiegu prostokątnego.

Ustawienia emulacji sondy lambda oraz funkcji służących do przełączania paliw nie różnią się od opisanych w rozdziale 3.



Fot. 4.4. Obraz programu diagnostycznego z widocznymi funkcjami autodiagnostycznymi

Sterownik układu zasilania LPG ma funkcje autodiagnostyczne, które działają przez cały czas jego pracy. Obejmują one kontrolę elementów istotnych dla bezpieczeństwa użytkowania układu oraz zapewniają właściwą współpracę układu z silnikiem. Wystąpienie błędu jest sygnalizowane kierującemu, natomiast do odczytu rodzaju błędu niezbędny jest diagnoskop (fot. 4.4).

Wypływ LPG do silnika w przypadku jego unieruchomienia z włączonym zapłonem (na przykład zgaśnięcie silnika podczas ruszania) powinien zostać zamknięty. Wykrycie zagrożenia realizacji tej funkcji powoduje przełączenie zasilania na benzynę i zablokowanie możliwości zasilania silnika LPG, do momentu usunięcia przyczyny awarii (1, fot. 4.4).

Diagnostyka zaworu (zaworów) zamykającego dopływ paliwa do reduktora oraz zaworu odcinającego dozatora, polega na wykryciu braku zasilania bądź zwarcia obwodu zasilającego cewkę zaworu. Funkcje autodiagnostyki umożliwiają również wykrycie nieprawidłowej pracy czujnika podciśnienia zamontowanego w module (może to być na przykład uszkodzenie rurki łączącej czujnik z kolektorem dolotowym samochodu). Układ zasilania LPG z takimi uszkodzeniami nie działa, a zabezpieczenie ma za zadanie przełączenie zasilania na benzynę i niedopuszczenie do nagłego unieruchomienia samochodu podczas jazdy. Wykrycie wymienionych błędów działania instalacji LPG blokuje możliwość przełączenia rodzaju zasilania na LPG, do czasu naprawy uszkodzenia (2, fot. 4.4).

Zawory dławiące pracujące w dozatorze są sterowane przez sterownik układu LPG. Jeżeli podczas pracy silnika pojazdu średnie położenie silników krokowych osiąga wartość graniczną, określoną przez zakres regulacji, i pozostaje w niej przez pewien czas (oprócz fazy przyspieszania oraz hamowania silnikiem) oznacza

to, że skład mieszanki wyszedł poza optymalne granice, a sterownik wyczerpał możliwości regulacji dawkowania paliwa. Może być to efektem nieprawidłowego ciśnienia paliwa w układzie nie tylko na skutek uszkodzenia, lecz również przy braku paliwa LPG w zbiorniku lub przy zbyt wąsko ustawionych granicach autoadaptacji układu.

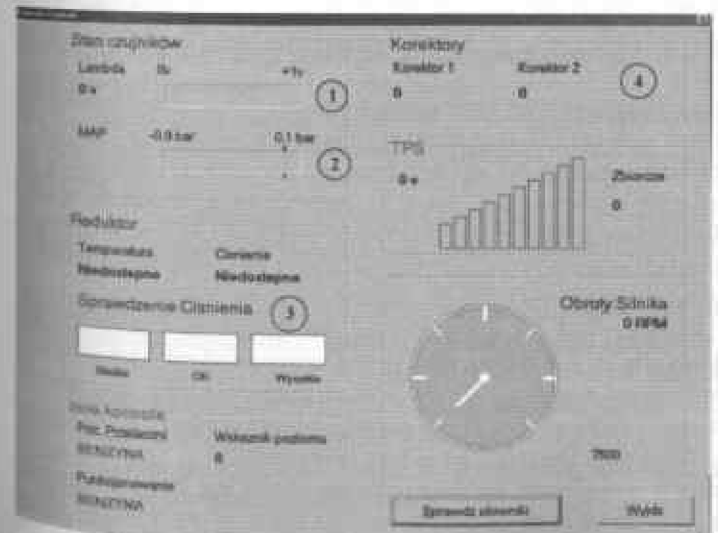
Wystąpienie zarówno błędu zakresu sterowania, jak i błędu spowodowanego spadkiem temperatury reduktora powoduje przełączanie zasilania na benzynę, lecz nie blokuje możliwości przełączenia rodzaju zasilania na LPG. W przypadku powtórnego wystąpienia błędu, sterownik układu LPG przełączy zasilanie na benzynę (3, fot. 4.4).

Wykrycie nieprawidłowej pracy sondy lambda bądź przerwanie obwodu sygnałowego, powoduje automatyczne przejście sterownika układu zasilania LPG na tryb awaryjny, w którym dawkowanie paliwa nie uwzględnia sygnału sondy lambda, a zatem działa tylko na podstawie danych z mapy wtrysku. Jeżeli mapa wtrysku jest dobrze dobrana, to silnik samochodu nie traci w sposób zauważalny parametrów użytkowych, co pozwala użytkować pojazd przy zasilaniu LPG (4, fot. 4.4).

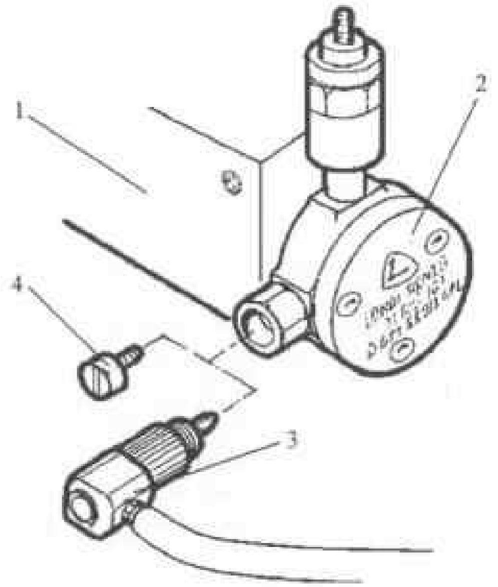
Sterownik układu LPG ma wbudowany licznik czasu pracy silnika przy zasilaniu LPG oraz benzyną (5, fot. 4.4).

Ocenę pracy instalacji IGS przez obsługę serwisową umożliwia wizualizacja parametrów pracy silnika oraz instalacji LPG (fot. 4.5).

Ekran diagnoskopu pozwala obserwować prędkość obrotową silnika, napięcie sondy lambda, sygnał czujnika położenia przepustnicy oraz podciśnienie w kolektorze dolotowym. O pracy instalacji IGS informują okna temperatury reduktora, ciśnienia LPG w fazie gazowej na wlocie do dozatora oraz odchylenie wartości śred-



Fot. 4.5. Obraz programu diagnostycznego z widocznym oknem wizualizacji pracy instalacji IGS



Rys. 4.9. Podłączenie czujnika ciśnienia do dozatora
1 – korpus dozatora, 2 – zawór odcinający, 3 – końcówka czujnika ciśnienia, 4 – wkręt

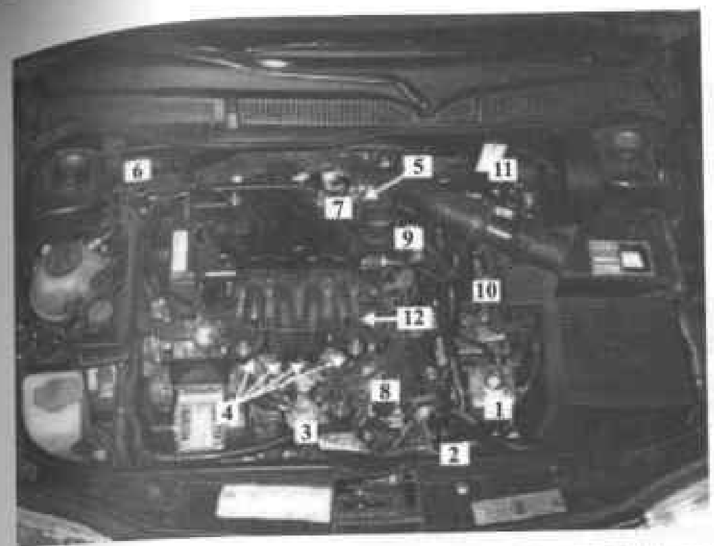
niej ustawienia silników krokowych od wartości wpisanej do mapy wtrysku. W celu zmierzenia ciśnienia w instalacji IGS podłączany jest czujnik ciśnienia do gniazda na wejściu do dozatora, w pobliżu zaworu odcinającego (rys. 4.9).

Sygnał z sondy lambda pozwala na ocenę składu mieszanki. Wartość napięcia sondy podawana jest w polu odczytowym (1, fot. 4.5). Przy właściwej pracy układu zasilania skład mieszanki zmienia się co chwilę, co jest widoczne dzięki zmianom kolorów pola odczytowego z czerwonego (mieszanka bogata) na zielony (mieszanka uboga).

Sygnał podciśnienia w kolektorze dolotowym, mierzony przez czujnik wbudowany w sterownik układu LPG, daje obraz stopnia obciążenia silnika (2, fot. 4.5). Jeżeli czujnik ciśnienia paliwa LPG jest dołączony do dozatora, to diagnoskop porównując dwa odczyty ciśnienia (2, 3, fot. 4.5), pozwala na wyznaczenie różnicy ciśnień służącej do oceny nadciśnienia w układzie zasilania LPG, w porównaniu z ciśnieniem w układzie dolotowym, co daje podstawę do ewentualnej regulacji ciśnienia wykonywanej przez obrót wkrętu regulacyjnego na reduktorze.

W polu „korektory" (4, fot. 4.5) widoczna jest różnica między wartościami średniego położenia silnika krokowego sterującego zaworem dławiącym w dozatorze, a wartościami z mapy wtrysku. Przy prawidłowo dobranej mapie, zakres zmian wartości nie powinien przekraczać wartości podanych przez producenta (10 kroków dla pierwszego i 20 kroków dla drugiego silnika krokowego).

Obserwacja wyświetlanych wartości przeprowadzana jest zarówno na postoju, jak i podczas jazdy samochodu. Przedstawienie parametrów pracy silnika w sposób graficzny, przy pewnym doświadczeniu pozwala na obserwację kilku parametrów pracy silnika, co umożliwia wszechstronną ocenę pracy układu zasilania LPG.



Fot. 4.6. Widok komory silnika z zaznaczonymi elementami instalacji IGS i miejscem ich zamontowania
1 – reduktor, 2 – dozator, 3 – dystrybutor, 4 – wtryskiwacze, 5 – czujnik podciśnienia w kolektorze dolotowym, 6 – miejsce „wcięcia się" w wiązkę przewodów elektrycznych sondy lambda, 7 – czujnik położenia przepustnicy, 8 – cewka zapłonowa, 9 – miejsce ułożenia przewodu mierzącego prędkość obrotową silnika, 10 – sterownik instalacji IGS, 11 – emulator wtrysku, 12 – miejsce „wcięcia się" w wiązkę przewodów elektrycznych wtryskiwaczy

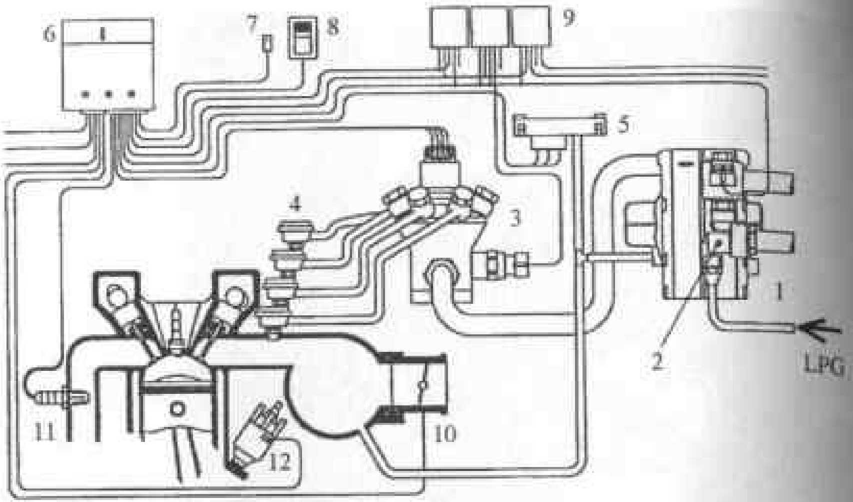
Producent instalacji IGS opracował szczegółowe instrukcje montażu do samochodów najczęściej występujących w eksploatacji. Dotyczy to kompletacji instalacji, rozmieszczenia elementów instalacji (fot. 4.6), podłączenia do instalacji elektrycznej samochodu, montażu wtryskiwaczy, jak również typowego oprogramowania sterownika. Instrukcja montażu określa nawet długości przewodów LPG łączących elementy instalacji.

Instalacje IGS można montować do dowolnego samochodu, przestrzegając ogólnych zaleceń montażu oraz opracowując indywidualne mapy wtrysku dla tego samochodu.

4.1.3. EGI – instalacja wtrysku fazy gazowej firmy Koltec

Koncepcja działania oraz zastosowanie instalacji są identyczne jak przedstawionej w poprzednim podrozdziale instalacji IGS firmy Landi Renzo.

Instalacja EGI składa się z następujących głównych elementów (rys. 4.10):
- dwustopniowego reduktora (1) utrzymującego stałe nadciśnienie gazu w stosunku do ciśnienia panującego w kolektorze dolotowym;
- rozdzielacza gazu (3), który jest elementem sterującym dawką paliwa podawanego do układu dolotowego silnika;
- wtryskiwaczy z zaworami wtryskowymi (4), które wtryskują gaz do kolektora;
- czujnika podciśnienia w kolektorze dolotowym (5);



Rys. 4.10. Schemat instalacji EGI wtrysku fazy gazowej firmy Koltec
1 – reduktor, 2 – elektrozawór odcinający, 3 – rozdzielacz, 4 – wtryskiwacze, 5 – czujnik podciśnienia w kolektorze dolotowym, 6 – sterownik instalacji, 7 – złącze diagnostyczne, 8 – przełącznik wyboru paliwa, 9 – przekaźniki, 10 – czujnik położenia przepustnicy, 11 – sonda lambda, 12 – czujnik prędkości obrotowej silnika

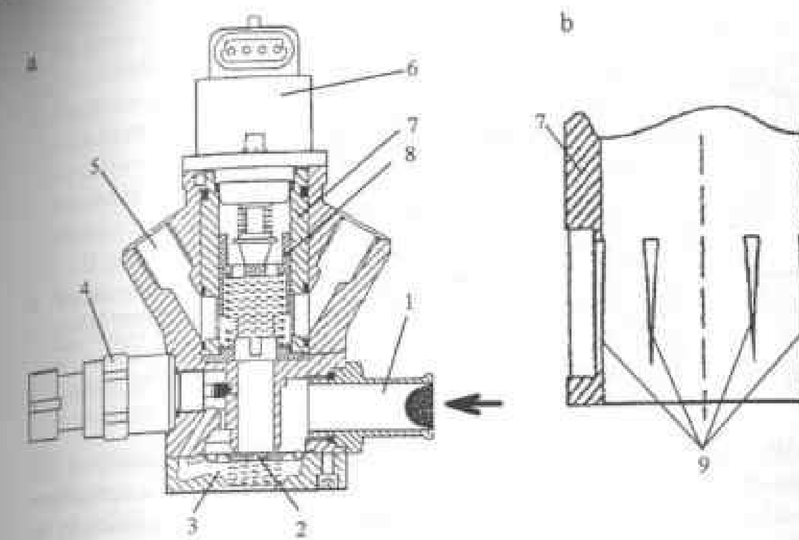
- elektronicznego sterownika (6) przetwarzającego sygnały z czujników i na tej podstawie sterującego poprzez rozdzielacza dawką wtryskiwanego paliwa.

Rozdzielacz

Głównymi elementami rozdzielacza są (rys. 4.11):
- zawór odcinający, tzw. zawór DFCO (2), znajdujący się na wlocie do rozdzielacza;
- zawór dławiący (7, 8) sterowany silnikiem krokowym (6).

Zawór odcinający pełni te same funkcje, co jego odpowiednik w instalacji IGS firmy Landi Renzo. Zastosowano w nim elektromagnetyczny zawór odcinający, którego zamknięcie wywołuje powstanie różnicy ciśnień po obu stronach membrany (2), stanowiącej element zaworu zamykającego przepływ paliwa. Otwarcie zaworu elektromagnetycznego powoduje wyrównanie ciśnień po obu stronach membrany, co umożliwia sprężynie jej odciągnięcie i otwarcie zaworu. Zamknięcie zaworu elektromagnetycznego powoduje zamknięcie zaworu (2), a różnica ciśnień po obu stronach membrany dociska ją do gniazda, zapewniając szczelność zaworu.

Zawór dławiący służy do regulacji ilości przepływającego paliwa LPG w fazie gazowej dostarczanego do silnika. Paliwo przepływające przez rozdzielacz jest kierowane szczelinami (9) w tulei (7) do kanałów, które doprowadzają paliwo do wtryskiwaczy. Wewnątrz tulei znajduje się tłoczek (8), który w zależności od położenia zasłania częściowo lub całkowicie szczeliny, zmieniając w ten sposób pole przekroju otworu, co zmienia stopień dławienia przepływu paliwa LGP i umożliwia sterowanie jego wydatkiem.



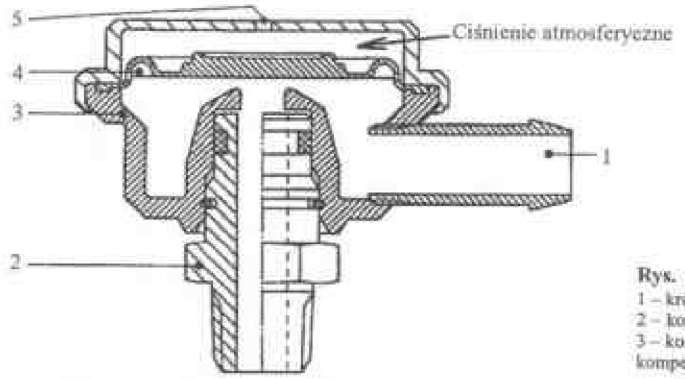
Rys. 4.11. Przekrój rozdzielacza (a) oraz widok szczelin w tłoczku (b)
1 – króciec wlotowy LPG, 2 – zawór, 3 – pokrywa zaworu, 4 – elektrozawór, 5 – króciec wylotowy LPG, 6 – silnik krokowy, 7 – tuleja, 8 – tłoczek, 9 – szczeliny w tulei

Ruch tłoczka jest kontrolowany przez sterownik układu LPG za pomocą silnika krokowego (6). Kształt szczelin jest tak dobrany, aby w warunkach niewielkiego zapotrzebowania paliwa przez silnik (na przykład przy pracy na biegu jałowym) odkryta była część szczeliny o najmniejszej szerokości, a w miarę wzrostu natężenia przepływu gazu odkrywana pozostała jej część. Rozdzielacz jest wyposażony w sześć wyprowadzeń, dołączanych do wtryskiwaczy. W przypadku montażu instalacji do samochodu o mniejszej liczbie cylindrów, część z nich jest zaślepiana. Szczeliny w rozdzielaczu są wrażliwe na zabrudzenia, które przedostaną się przez filtr paliwa i reagują na nie, zmieniając rozdział paliwa do poszczególnych odgałęzień kolektora dolotowego.

Wtryskiwacz

Paliwo jest doprowadzane do wtryskiwaczy za pomocą elastycznego przewodu. Na wlocie do wtryskiwacza zamontowany jest zawór, którego działanie w czasie przepływu paliwa zapewnia powstanie niewielkiej (5 kPa) różnicy ciśnień po obu jego stronach. W zaworze wyróżnić można membranę (4, rys. 4.12), która jest podnoszona przez ciśnienie paliwa przepływającego do wtryskiwacza. Końcówka wtryskiwacza (2) wykonana jest jako tulejka wkręcona w kolektor dolotowy.

Część mechaniczna instalacji firmy Koltec odpowiada pod względem wykorzystywanych funkcji instalacji IGS. W obu można wyróżnić reduktor, zawór odcinający sterowany przez sterownik instalacji LPG, zawór dławiący oraz części zapewniające rozdział paliwa na wtryskiwacze a także zawory utrzymujące ciśnienie w instalacji. W instalacji firmy Koltec rolę dozatora instalacji IGS pełni rozdzielacz, który



Rys. 4.12. Wtryskiwacz
1 – króciec wlotowy LPG, 2 – końcówka wtryskiwacza, 3 – korpus, 4 – zawór, 5 – otwór kompensacyjny

ma za zadanie rozdzielenie paliwa do poszczególnych cylindrów. W instalacji IGS rozdział następuje w dystrybutorze, który pełni jednocześnie funkcję zaworu powodującego stały spadek ciśnienia na drodze doprowadzenia paliwa do silnika. W instalacji EGI firmy Koltec zawory są zamontowane bezpośrednio na wtryskiwaczach, których konstrukcja i sposób mocowania są identyczne z zastosowanymi w instalacji IGS.

Zasada działania sterownika instalacji EGI, jak również zestaw sygnałów koniecznych do działania instalacji, są niemal takie same jak w instalacji IGS. Podstawową różnicą instalacji firmy Koltec jest przygotowywanie kompletów instalacji do zastosowania w ściśle określonym typie silnika (instalacje „dedykowane"), bez możliwości ich zastosowania do innego typu silnika. Oznacza to, że instalacje te są dostępne do ograniczonej liczby typów samochodów (opublikowane na stronie internetowej www.necam.pl).

Pomimo że układ sterowania ma funkcje autoadaptacji, to mapa wtrysku opracowana przez producenta instalacji nie może być dowolnie korygowana, a funkcje umożliwiające dokonywanie zmian oprogramowania sterownika instalacji LPG firmy Koltec są ograniczone, w porównaniu z instalacją IGS firmy Landi Renzo.

W porównaniu z układami zasilania II generacji, układy III generacji wykazują wiele przedstawionych poniżej zalet:

- Zakłócenia ciśnienia w układzie dolotowym (spowodowane przez napór wiatru), zmiany oporów przepływu (na przykład zabrudzenie filtra powietrza) lub nawiew na reduktor nie wpływają na sterowanie składem mieszanki.
- Przyspieszenia działające na reduktor podczas jazdy samochodu nie mają wpływu na jego pracę.
- Sterownik układu zasilania LPG ma wbudowaną mapę sterowania wtryskiem LPG, która zapewnia stabilność sterownia składem mieszanki oraz dobre właściwości silnika w stanach nieustalonych; dla porównania układy II generacji przyjmowały jedno położenie silnika krokowego jako optymalne dla całego zakresu pracy silnika. Działanie sterownika układu LPG kopiuje przyjęte rozwiązania stosowane w układach wtryskowych benzyny.

- Nie wymagają stosowania mieszalnika ani kryz, powodujących zwiększone opory w układzie dolotowym.
- Zwiększenie precyzji i stabilności dawkowania paliwa LPG ogranicza do minimum prawdopodobieństwo wystąpienia zjawiska „strzału", a przez wprowadzanie paliwa do kanałów dolotowych blisko głowicy silnika samochodu, ograniczona została objętość w układzie dolotowym wypełnioną mieszanką palną przy zasilaniu silnika LPG; wyeliminowało to występujące w układach mieszalnikowych (I i II generacji) przypadki uszkodzeń układu dolotowego.
- Poprawa precyzji oraz stabilności sterowania składem mieszanki palnej przez układy zasilania LPG III generacji, ma pozytywny wpływ na trwałość silnika oraz reaktora katalitycznego.
- Szybszy początek podawania oraz zatrzymania wypływu paliwa LPG przy przełączaniu rodzaju paliw.

Obsługa układów III generacji polega na okresowym sprawdzeniu ciśnienia w reduktorze, wymianie filtrów paliwa, kontroli szczelności układu oraz sprawdzeniu poprawności działania sterownika układu LPG za pomocą diagnoskopu. Prawidłowo pracujący układ III generacji nie wymaga regulacji, podobnie jak elektronicznie sterowany układ wtrysku benzyny.

Eksploatując układy III generacji należy zwrócić szczególną uwagę na możliwość wystąpienia różnic w dawkowaniu paliwa do poszczególnych odgałęzień kolektora dolotowego. Uszkodzenie tego rodzaju może nie być zdiagnozowane przez analizę sygnału sondy lambda, ponieważ sterowanie składem mieszanki oparte jest o analizę spalin pochodzących ze wszystkich lub kilku (np. dla silników widlastych) cylindrów silnika, a nie na podstawie analizy spalin każdego cylindra oddzielnie. Wystąpienie usterki powodującej zmiany dawkowania w niewielkim zakresie, może nie powodować wyraźnie występujących oznak niesprawności silnika, lecz znacznie pogorszyć warunki pracy cylindra zasilanego mieszanką ubogą.

Prosta diagnostyka równomierności dawkowania paliwa LPG polega na porównaniu wyglądu elektrod i izolatora świec zapłonowych po przejechaniu minimum kilkudziesięciu kilometrów drogi poza miastem (w miarę ze stałą prędkością), przy zasilaniu silnika paliwem LPG.

4.2. Układy zasilania LPG IV generacji

Układy zasilania LPG IV generacji powstały jako reakcja na postęp techniczny w dziedzinie sterowania pracą silnika. Wprowadzenie systemu OBD, a szczególnie aktywnych testów funkcjonalnych[1], spowodowało konieczność opracowania dostosowanych do nich układów LPG.

Zasada działania układów LPG IV generacji nawiązuje do koncepcji sekwencyjnego, wielopunktowego wtrysku benzyny. Założeniem konstruktorów było za-

[1] Opisane w podrozdziale 3.2.6.

stąpienie wtrysku benzyny do kolektora dolotowego przez wtrysk paliwa LPG w taki sposób, żeby przejście z zasilania benzyną na paliwo LPG było niezauważalne dla kierowcy samochodu.

Techniczna realizacja takich założeń jest możliwa w przypadku, gdy:

- sterowanie dawką LPG będzie dostosowane do ilości powietrza przepływającego przez układ dolotowy, tak aby otrzymana mieszanka palna LPG-powietrze charakteryzowała się takim samym współczynnikiem nadmiaru powietrza jak przy zasilaniu benzyną;
- wtrysk LPG będzie odbywał się w chwili, w której nastąpiłby wtrysk benzyny, czyli musi być pełna synchronizacja czasu wtrysku LPG i benzyny;
- czas wtrysku LPG nie będzie odbiegał od czasu wtrysku benzyny.

Dawka benzyny wtryskiwana podczas jednego cyklu jest zależna od rodzaju wtryskiwacza, czasu jego otwarcia oraz, w mniejszym stopniu, od ciśnienia paliwa, jego temperatury, napięcia w instalacji elektrycznej samochodu. Przygotowano wtryskiwacze paliwa LPG o parametrach umożliwiających praktyczną realizację powyższych warunków.

Prace doświadczalne w procesie projektowania samochodu prowadzą do kompromisu między koniecznością zapewnienia dobrych właściwości użytkowych, sprzecznymi wymaganiami technicznymi, wymaganiami przepisów oraz dostosowaniem funkcji sterownika silnika do współpracy z osprzętem silnika, klimatyzacją, automatyczną skrzynką biegów, systemami sterowania układem napędowym i hamulcowym, czy urządzeniami do oczyszczania spalin. W wyniku tych prac powstaje oprogramowanie sterownika silnika, spełniające w optymalny sposób te sprzeczne wymagania.

Sterowanie składem mieszanki paliwowo-powietrznej przy zasilaniu benzyną realizuje następujące funkcje:

- zapewnia otrzymanie założonych właściwości eksploatacyjnych pojazdu,
- umożliwia spełnienie przez samochód zawartych w przepisach wymagań emisyjnych,
- umożliwia współpracę z elementami układu napędowego, hamulcowego, klimatyzacją i innymi.

Sterownik silnika nie jest w nowoczesnym samochodzie autonomicznym urządzeniem, lecz realizuje funkcje pomocnicze w połączeniu z innymi zespołami samochodu. Przykładem może być współpraca z układem napędowym oraz hamulcowym w samochodach wyposażonych w układy polepszające stabilność prowadzenia samochodu. Jeżeli samochód przyspiesza na bardzo śliskiej nawierzchni (na przykład lodzie), to nieumiejętne obchodzenie się pedałem „gazu" powoduje poślizg kół i zmniejszenie siły napędowej. Nowoczesne układy sterowania samochodem powodują przyhamowanie kół napędowych oraz zmniejszenie siły napędowej na kołach przez ograniczenie wtryskiwanej dawki paliwa, a więc i rozwijanej przez silnik mocy.

Dla zapewnienia poprawnej pracy silnika oraz właściwej współpracy z innymi zespołami pojazdu, optymalne jest sterowanie wtryskiem LPG przez sterownik silnika (sterujący układem wtryskowym benzyny). Sterownik ten połączony jest

z czujnikami mierzącymi parametry pracy silnika, a jego oprogramowanie jest dostosowane do współpracy z nimi. Dzięki temu zapewnia prawidłową interpretację sygnałów i optymalne wysterowanie składu mieszanki. Sterowanie składem mieszanki benzyna-powietrze jest realizowane przez zmianę czasu otwarcia wtryskiwaczy benzyny. Sygnał ten jest wykorzystywany do sterowania dawką paliwa wtryskiwaną przez wtryskiwacz LPG. Jak z tego widać układy zasilania LPG IV generacji nie wpływają na pracę sterownika silnika (wtrysku benzyny), lecz w pełni z niego korzystają. W związku z powyższym sterownik silnika sprawuje pełną kontrolę nad silnikiem w pełnym zakresie swych możliwości, włączając w to ogranicznik prędkości obrotowej, odcinanie paliwa podczas hamowania silnikiem, wzbogacenie w warunkach pełnej mocy, działanie ASR oraz systemów kontroli trakcji oraz systemu autodiagnostyki silnika (w tym OBD) również przy zasilaniu LPG. Istotne jest również to, że fazy nieustalone, tj. fazy w których nagle zmienia się obciążenie silnika, są pod kontrolą sterownika silnika, który swój program zawdzięcza wielogodzinnym testom przeprowadzanym przez konstruktorów w różnych warunkach.

Układy zasilania LPG starszych generacji nie są na tyle doskonałe, aby sterowanie składem mieszanki mogło przebiegać z precyzją porównywalną do precyzji układu wtrysku benzyny. Z tego powodu niezbędne jest używanie sygnałów zastępczych sondy lambda[2], aby nie dopuścić do sytuacji, w której sterownik silnika wykryje nieprawidłowe z punktu widzenia działania układu zasilania benzyną sterowanie składem mieszanki i zakwalifikuje to jako jego niesprawność. Jeżeli układ zasilania LPG steruje dawkowaniem paliwa wystarczająco precyzyjnie, użycie emulatorów sondy (sond) lambda jest zbędne.

Ideałem, do którego dążą producenci układów zasilania LPG, jest wypracowanie urządzenia, które będzie działać prawidłowo po zamontowaniu w samochodzie i podłączeniu tylko do zasilania elektrycznego i wtryskiwaczy benzyny.

Należy pamiętać, że LPG jest mieszaniną dwóch węglowodorów o różnych właściwościach. W zależności od składu paliwa LPG zmienia się dawka paliwa niezbędna do powstania stechiometrycznej mieszanki palnej. Jeżeli sterowanie dawką wtryskiwanego paliwa dotyczy fazy gazowej, to aby utrzymać stały współczynnik nadmiaru powietrza, różnice objętości wtryskiwanego paliwa przy występującym w praktyce zakresie zmian składu paliwa LPG wynoszą ok. 15%, a jeżeli fazy ciekłej – ok. 3%[3]. Dla porównania, w przypadku benzyny konieczne różnice w dawkowaniu przy zmianie rodzaju benzyny nie przekraczają 1%.

Zatem zmiany składu paliwa LPG mają większy wpływ na pracę układu wtrysku fazy gazowej LPG, niż układu zasilania sterującego dawkowaniem fazy ciekłej.

Paliwo LPG jest wprowadzane do kolektora dolotowego w pobliżu wtryskiwacza benzyny. Niewielka objętość LPG w kolektorze dolotowym w połączeniu z precyzją sterowania składem oraz sposobem podawania mieszanki LPG-powietrze, eliminuje w praktyce możliwość wystąpienia zjawiska „strzału".

[2] Generowanych za pomocą emulatorów sondy lambda.

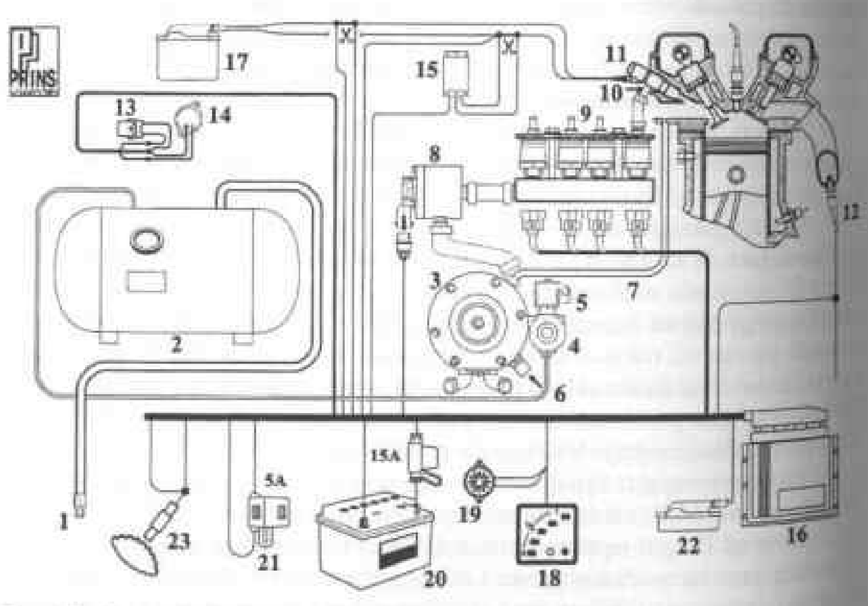
[3] Stała stechiometryczna mieszanki paliwowo-powietrznej – tabela 2.8.

4.2.1. Instalacja wtrysku fazy gazowej firmy Prins

Układ wtrysku fazy gazowej LPG przeznaczony jest do zasilania silników z układem wtrysku wielopunktowego, wyposażonych w system OBD, bez używania emulatorów sond lambda. Układ ten może jednak zasilać każdy silnik wyposażony w wielopunktowy, elektrycznie sterowany układ wtrysku benzyny.

Instalacja firmy Prins działa na zasadzie sekwencyjnego wtrysku fazy gazowej LPG do kolektora dolotowego. Jest sterowana i synchronizowana w oparciu o sygnały elektronicznego modułu sterowania silnikiem (sterownika silnika), odczytane z przewodów sterujących otwieraniem wtryskiwaczy benzyny.

Zbiornik paliwa gazowego zamontowany w pojeździe podaje paliwo LPG w postaci ciekłej pod ciśnieniem par nasyconych do reduktora. Między zbiornikiem paliwa LPG a reduktorem są dwa zawory odcinające – jeden w armaturze zbiornika paliwa gazowego, a drugi bezpośrednio przed reduktorem. Reduktor ma za zadanie rozprężyć paliwo LPG do zadanego ciśnienia oraz umożliwić zmianę stanu skupienia z ciekłego w gazowy. Reduktor ma również za zadanie utrzymać stałe ciśnienie niezależnie od wydatku pobieranego paliwa. Paliwo LPG przepływa przez przewód do modułu filtrującego (filtra fazy gazowej) i do wtryskiwaczy LPG, których pracą steruje sterownik układu zasilania LPG.



Rys. 4.13. Schemat instalacji wtrysku fazy gazowej LPG firmy Prins
1 – zawór tankowania, 2 – zbiornik gazu, 3 – reduktor, 4 – filtr fazy ciekłej LPG, 5 – elektrozawór, 6 – czujnik temperatury reduktora, 7 – przewód łączący zawór bezpieczeństwa z kolektorem dolotowym, 8 – filtr fazy gazowej LPG z czujnikami ciśnienia i temperatury, 9 – wtryskiwacze gazu, 10 – adapter, 11 – wtryskiwacz benzyny, 12 – sonda lambda, 13 – elektrozawór, 14 – wskaźnik poziomu gazu, 15 – zespół odcięcia wtrysku, 16 – elektroniczny moduł sterowania układem zasilania LPG, 17 – elektroniczny moduł sterowania silnikiem, 18 – przełącznik wyboru paliwa, 19 – brzęczyk, 20 – akumulator, 21 – bezpiecznik, 22 – złącze diagnostyczne, 23 – generator sygnałów prędkości obrotowej silnika

Zbiornik paliwa gazowego

Producent instalacji zaleca stosowanie zbiornika paliwa z przegrodą zabezpieczającą przed zasysaniem LPG w fazie gazowej, przy niskim poziomie paliwa w zbiorniku paliwa gazowego. Jeżeli samochód znajduje się w ruchu, to paliwo LPG w zbiorniku faluje i przelewa się w zależności od przyspieszeń. Jeżeli w zbiorniku znajduje się niewielka ilość paliwa, to możliwe staje się zassanie LPG w postaci gazowej, co może spowodować spadek ciśnienia regulowanego przez reduktor LPG. Jeżeli w zbiorniku występuje przegroda, to prawdopodobieństwo zassania fazy gazowej przy niewielkiej ilości paliwa LPG w zbiorniku zmniejsza się. Na rys. 4.13 zbiornik paliwa gazowego wyposażony jest w płytę armaturową. Instalacje montowane w Polsce są wyposażane w zbiorniki z wielozaworami, co jest obojętne dla działania instalacji.

W układzie zasilania nie ma pompy LPG, zatem instalacja jest zasilana pod ciśnieniem par nasyconych fazy gazowej, zależnym od składu LPG oraz od temperatury paliwa.

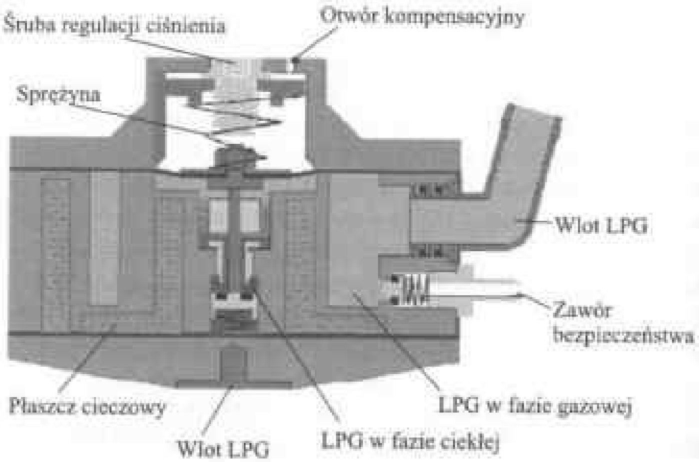
Reduktor

Zadaniem reduktora jest dostarczenie LPG w postaci gazowej. Najistotniejsze dla efektywnej kontroli wtryskiwanej dawki jest zachowanie możliwie stałego ciśnienia paliwa LPG na wyjściu z reduktora, niezależnie od poboru paliwa LPG przez silnik.

Reduktor ma jeden stopień redukcji, zatem odparowanie LPG oraz regulacja ciśnienia zachodzi w tym samym stopniu regulacji.



Rys. 4.7. Reduktor firmy Prins



Rys. 4.14. Schemat reduktora firmy Prins

Działanie reduktora jest identyczne z działaniem I stopnia regulacji reduktora używanego w układach mieszalnikowych. Pobór paliwa LPG przez silnik powoduje spadek ciśnienia w komorze reduktora, pozwalając na otwarcie zaworu wlotowego i wpłynięcie nowej porcji LPG. Paliwo LPG wpływa przez dyszę do komory reduktora i odparowuje, pobierając ciepło z cieczy chłodzącej.

Ciśnienie reguluje się za pomocą śruby regulacyjnej na reduktorze, oddziałującej na wstępne napięcie sprężyny (rys. 4.14). Wartość ciśnienia dobrana jest w zależności od pojemności silnika oraz zastosowanych wtryskiwaczy i wynosi od 160 do 240 kPa ciśnienia absolutnego. Dla właściwej pracy układu niezbędne jest minimalne ciśnienie w zbiorniku LPG 250 kPa.

Maksymalna wydajność reduktora wynosi 14 g LPG/s (to jest 50 kg/h lub 95 dm^3/h), co pozwala na zasilanie silników o mocy do 240 kW.

Dane o temperaturze reduktora przekazuje czujnik temperatury cieczy do sterownika układu LPG, który reaguje na niedogrzanie, przełączając na zasilanie benzyną. Czujnik stanowi więc zabezpieczenie przed niedogrzaniem reduktora.

Reduktor wyposażony jest w zawór bezpieczeństwa. Zgodnie z wymaganiami Regulaminu 67 EKG ONZ, seria 01 poprawek, zawór ten otwiera się, gdy ciśnienie przekroczy 2,25-krotnie maksymalne ciśnienie robocze w części niskociśnieniowej (na wylocie z reduktora). Według zaleceń producenta wylot zaworu bezpieczeństwa musi być podłączony do kolektora dolotowego silnika (7, rys. 4.13). Niedozwolone jest połączenie wylotu z komorą silnika ani wyprowadzenie na zewnątrz samochodu.

Zasady montażu reduktora są identyczne z omawianymi przy okazji reduktorów w układach mieszalnikowych, z wyłączeniem wymagań dotyczących położenia reduktora oraz wpływu ciśnienia w otworze kompensacyjnym na pracę układu LPG. Należy pamiętać, że warunki pracy reduktora w instalacji firmy Prins są la-

twiejsze, ponieważ nie służy on do regulacji wydajności (funkcję tę przejął sterownik). Zakłócenia wywołane przyspieszeniami działającymi na mechanizm regulacji ciśnienia są znikomo małe, w porównaniu z ciśnieniem regulowanym przez reduktor, i kompensowane przez układ wtrysku gazu.

Filtr i moduł filtrujący

LPG jest znakomitym rozpuszczalnikiem ciężkich węglowodorów. W związku z tym filtrowanie LPG w fazie ciekłej może oczyścić gaz jedynie z zanieczyszczeń stałych, natomiast rozpuszczone ciężkie węglowodory nie są zatrzymywane. Podczas parowania paliwa LPG ciężkie węglowodory w nim rozpuszczone pozostają w stanie ciekłym. Jeżeli dla działania układu zasilania niezbędne jest, żeby paliwo LPG w fazie gazowej nie zawierało zanieczyszczeń, to filtrowanie musi dotyczyć fazy gazowej.

Instalacja firmy Prins wyposażona jest w dwa filtry: fazy ciekłej – montowany na wejściu do reduktora i fazy gazowej. Filtr LPG w fazie gazowej, tzw. moduł filtrujący (fot. 4.8), jest montowany za reduktorem jako oddzielne urządzenie. Ma on za zadanie wychwycić zanieczyszczenia i zapobiec zanieczyszczaniu wtryskiwaczy. Na filtrze zatrzymują się cząstki o średnicy od 10 µm. Częstotliwość wymiany zależna jest od stopnia zanieczyszczenia paliwa. Przeciętnie po 20 000 km od założenia instalacji LPG do samochodu, a następnie co 75 000 km.

Czujnik ciśnienia oraz temperatury fazy gazowej LPG

Zasada działania układu wtryskowego tak benzyny, jak i LPG opiera się na dawkowaniu odpowiedniej masy paliwa do układu dolotowego. Na wyjściu z reduktora temperatura LPG w fazie gazowej jest zależna od natężenia przepływu. Na biegu jałowym temperatura ta wynosi ok. 70°C, natomiast wraz ze wzrostem prędkości



Fot. 4.8. Filtr LPG w fazie gazowej (tzw. moduł filtrujący) wraz z czujnikiem temperatury i ciśnienia fazy gazowej LPG (strzałka wskazuje złącze elektryczne do podłączenia przewodów sygnałowych)

obrotowej, a co za tym idzie mocy silnika (natężenia przepływu) temperatura maleje. Zakres typowych temperatur pracy zawiera się między 20°C a 70°C.

Gęstość fazy gazowej zwiększa się wraz ze zmniejszaniem temperatury. Dla temperatur 20°C i 60°C gęstość LPG w fazie gazowej różni się o około 12%. Dla określonego czasu wtrysku objętość fazy gazowej wtryśniętego paliwa jest praktycznie niezależna od jej temperatury. Natomiast jej masa maleje w znaczący sposób ze wzrostem temperatury. W celu uniezależnienia składu mieszanki od temperatury fazy gazowej LPG, konieczne jest wprowadzenie odpowiedniej korekty temperaturowej.

W opisie reduktora wymieniono jako główne wymaganie zachowanie stałego ciśnienia na wyjściu. Ciśnienie to jednak może przy zmianach natężenia przepływu zmieniać się w niewielkich granicach na skutek niedoskonałości pracy reduktora, jak również na skutek spadku ciśnienia na filtrze paliwa. Wynikające stąd zmiany objętości dawki fazy gazowej LPG wymagają również korekty.

Czujniki ciśnienia oraz temperatury LPG w fazie gazowej są zamontowane w obudowie modułu filtrującego za wkładem filtrującym. Ciśnienie i temperatura fazy gazowej LPG są bardzo bliskie występującym przy króćcu wylotowym wtryskiwacza.

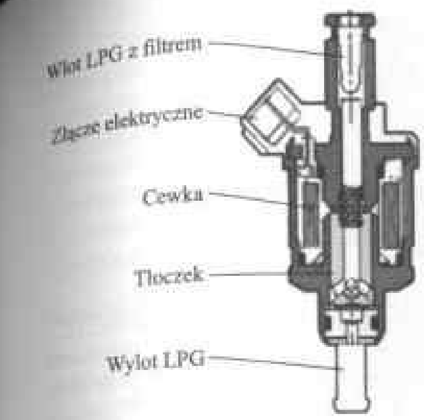
Pomiar chwilowych wartości ciśnienia oraz temperatury LPG umożliwia wprowadzenie korekcji uwzględniającej zmiany gęstości gazu we wtryskiwaczu.

Sygnał ciśnienia jest wykorzystywany również jako zabezpieczenie właściwej pracy układu zasilania LPG. Jeżeli reduktor LPG nie jest zasilany pod dostatecznie wysokim ciśnieniem, to układ nie może podać wystarczającej ilości paliwa, co prowadzi do zubożenia mieszanki. Podobny efekt grozi w przypadku zabrudzenia filtra fazy gazowej LPG. Jeżeli zubożenie zostanie stwierdzone przez system OBD, spowoduje to generowanie kodów błędów w sterowniku silnika. Z tego powodu wartość ciśnienia w układzie jest monitorowana w sposób ciągły przez sterownik układu zasilania LPG, który w przypadku spadku ciśnienia poniżej wartości minimalnej przełącza zasilanie na benzynę.

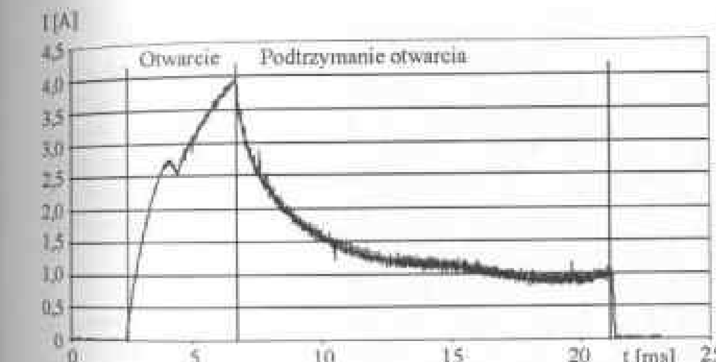
Wtryskiwacze

Wtryskiwacze LPG działają na identycznej zasadzie jak wtryskiwacze benzyny. Objętość dawki paliwa w fazie gazowej jest większa niż objętość dawki benzyny bądź LPG w fazie ciekłej. LPG w fazie gazowej pod ciśnieniem 200 kPa ma objętość ok. 120-krotnie większą niż w fazie ciekłej o tej samej masie. Dlatego też dla zapewnienia odpowiedniego podawania paliwa LPG, konieczne było zastosowanie wtryskiwacza o dużych wymiarach. Duże wymiary wiążą się z dużą masą elementów wykonawczych i odpowiednio dużymi siłami bezwładności. Otwieranie takiego wtryskiwacza wymaga zatem stosowania większych sił niż we wtryskiwaczach fazy ciekłej.

Otwieranie wtryskiwacza przebiega w dwóch etapach (rys. 4.16). Na początku przez uzwojenie elektromagnesu przepuszczany jest prąd o dużym natężeniu (do 4 A), który wywołuje dużą siłę, pozwalającą na szybkie podniesienie iglicy wtryskiwacza. Dla podtrzymania otwarcia wtryskiwacza nie jest już wymagany tak duży



Rys. 4.15. Przekrój poprzeczny wtryskiwacza LPG



Rys. 4.16. Przebieg natężenia prądu płynącego przez cewkę elektromagnesu wtryskiwacza w trakcie podawania LPG do układu dolotowego

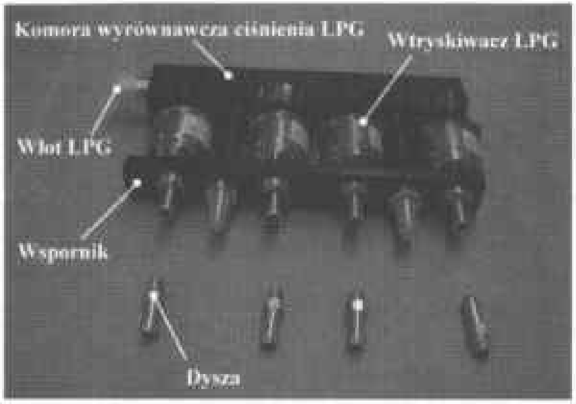
prąd, dlatego też w drugiej fazie jest on stopniowo ograniczany do ok. 1A. Ogranicza to nagrzewanie się wtryskiwacza.

Wtrysk realizowany przez układy zasilania LPG jest ograniczony ciśnieniem zasilania, a w przypadku układu nie wyposażonego w pompę LPG, ciśnieniem par w zbiorniku paliwa gazowego.

Istnieje kilka wielkości wtryskiwaczy, różniących się wydajnością, a zastosowanie konkretnego typu zależne jest od pojemności skokowej cylindra silnika spalinowego. Wtryskiwacze są montowane na wsporniku, będącym jednocześnie kolektorem zaopatrującym je w paliwo.

Wprowadzenie LPG do kolektora dolotowego

Wprowadzenie LPG do kolektora dolotowego realizuje się za pomocą wklejanych dysz bądź przez zastosowanie adapterów montowanych pod wtryskiwaczami benzyny, połączonych giętkimi przewodami z wtryskiwaczami LPG. Zespół wtryski-



Fot. 4.9. Wtryskiwacze LPG zamontowane na wsporniku oraz dysze służące do wprowadzania LPG do układu dolotowego



Fot. 4.10. Wtryskiwacze LPG zamontowane na przegrodzie silnika

waczy montowany jest możliwie blisko punktów wprowadzenia gazu do kolektora, aby przewody łączące wtryskiwacze z dyszami były jak najkrótsze. Nie mogą być załamane, przetarte ani zabrudzone wewnątrz. Długości przewodów łączących kolejne wtryskiwacze z dyszami nie mogą się różnić więcej niż o 1 cm.

Sterownik instalacji LPG firmy Prins

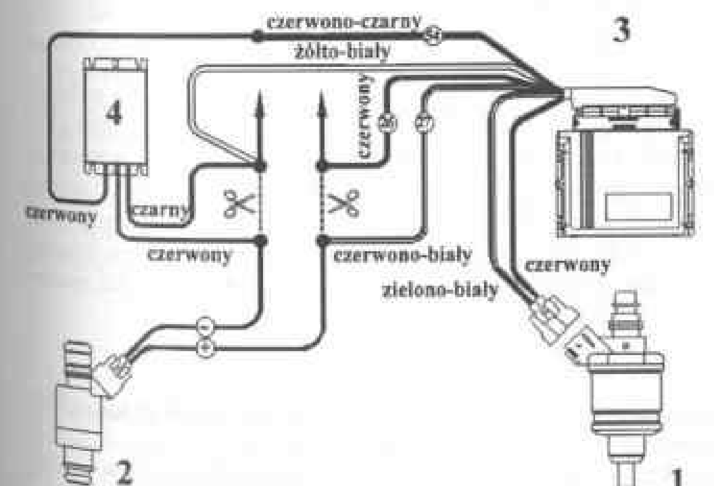
Sterownik instalacji LPG realizuje następujące funkcje:
- odczytuje sygnały wejściowe,
- zasila zawory odcinające dopływ LPG,
- steruje otwarciem wtryskiwaczy LPG,
- steruje przełączaniem paliw,
- odcina wtryskiwacze benzyny i włącza je do pracy,
- kontroluje proces sterowania składem mieszanki,
- realizuje funkcje serwisowe we współpracy z podłączanym diagnoskopem.

Sygnały wejściowe:
- prędkość obrotowa silnika,
- czas otwarcia wtryskiwaczy benzyny,
- sygnał sondy lambda,
- temperatura cieczy z układu chłodzenia silnika w reduktorze,
- temperatura LPG w fazie gazowej mierzona w obudowie filtra LPG,
- ciśnienie LPG w fazie gazowej,
- wybór rodzaju zasilania.

Sterowanie pracą wtryskiwaczy LPG

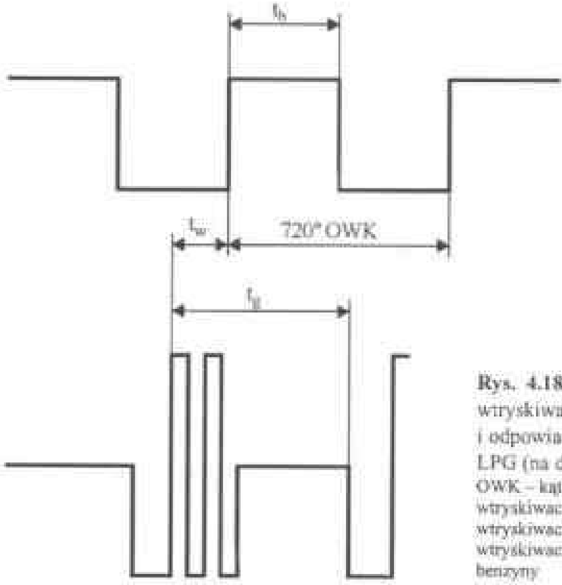
Sterownik instalacji LPG odczytuje czas otwarcia i zamknięcia wtryskiwacza benzyny. W instalacji wtryskowej kolejne cykle wtrysku do danego cylindra są realizowane co dwa obroty wału korbowego[4)], zatem określenie czasu początku wtrysku benzyny jest możliwe na podstawie stałego monitorowania sygnałów wtrysku benzyny.

Ze względu na większą masę części ruchomych wtryskiwacza LGP w stosunku do wtryskiwacza benzyny oraz połączenie wtryskiwaczy LPG z kolektorem dolotowym przewodami, występuje większe opóźnienie w od chwili wystąpienia sygnału otwarcia wtryskiwacza LPG do początku wypływu paliwa do kolektora dolotowego, niż w przypadku wtryskiwacza benzyny. Dla zapewnienia prawidłowej synchronizacji wtrysku obu paliw, wtryskiwacz LPG otrzymuje sygnał przed wystąpieniem sygnału sterującego przeznaczonego dla wtryskiwacza benzyny.



Rys. 4.17. Schemat odcięcia wtryskiwacza benzyny. Przewody służą do doprowadzenia sygnału sterującego wtryskiem benzyny do sterownika układu zasilania LPG
1 – wtryskiwacz LPG, 2 – wtryskiwacz benzyny, 3 – sterownik układu LPG, 4 – zespół odcięcia wtrysku

[4)] Dla silnika czterosuwowego.



Rys. 4.18. Sygnał sterujący otwarciem wtryskiwacza benzyny (u góry) i odpowiadający mu sygnał dla wtryskiwacza LPG (na dole)
OWK – kąt obrotu wału korbowego, t_b – czas otwarcia wtryskiwacza benzyny, t_g – czas otwarcia wtryskiwacza gazu, t_w – czas wyprzedzenia otwarcia wtryskiwacza gazu w stosunku do wtryskiwacza benzyny

Czas otwarcia wtryskiwacza LPG jest wyznaczany na podstawie zmierzonego czasu otwarcia wtryskiwacza benzyny, z uwzględnieniem poprawki wyznaczonej w czasie regulacji układu zasilania LPG oraz korekcji ciśnienia i temperatury LPG w obwodzie doprowadzenia paliwa.

Przełączanie benzyna – LPG

Jeżeli temperatura otoczenia w chwili rozruchu jest wyższa niż 20°C i na przełączniku wybrany jest tryb pracy na LPG, to silnik uruchamiany jest przy zasilaniu LPG! Natomiast jeżeli temperatura jest niższa, to silnik uruchomiony zostaje przy zasilaniu benzyną, a po przekroczeniu zadanej temperatury (przeważnie 30°C) nastąpi samoczynne przełączenie, bez przerwy w podawaniu paliwa. Jeżeli kolejność pracy cylindrów jest na przykład 1-3-4-2, to po zakończeniu fazy wtrysku przez wtryskiwacz benzyny 4 cylindra, wtrysk do kanału dolotowego 2 cylindra jest już realizowany przez wtryskiwacz LPG.

Funkcje zabezpieczające sterownika

Sterownik opisywanej instalacji LPG ma funkcje zabezpieczające silnik samochodu przed pracą w niekorzystnych dla niego warunkach. I tak, jeżeli:
- sygnał sondy lambda świadczy o występujących nieprawidłowościach w układzie sterowania LPG,
- wystąpi spadek ciśnienia w obwodzie doprowadzenia paliwa LPG,
- wystąpi spadek temperatury w reduktorze,

wówczas sterownik przełącza zasilanie silnika na benzynę i włącza sygnał dźwiękowy w kabinie kierowcy.

Jeżeli na przełączniku wyboru paliwa kierowca ustawi tryb pracy na LPG, to sterownik układu zasilania LPG przełączy zasilanie tylko w tym przypadku, gdy spełnione zostaną zaprogramowane warunki przełączenia paliw.

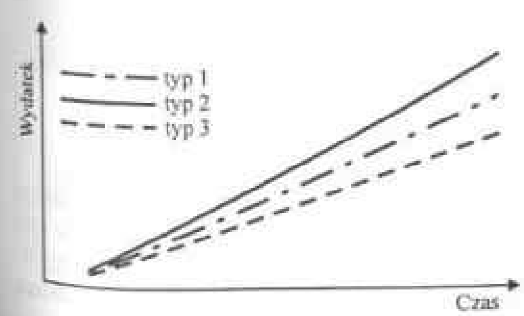
Uruchomienie i regulacja instalacji LPG firmy Prins

Idea pracy instalacji IV generacji jest takie dopasowanie dawkowania LPG do charakterystyki dawkowania wtryskiwacza benzyny, aby sterowanie wtryskiem LPG na podstawie czasu trwania sygnału elektrycznego sterującego otwarciem wtryskiwacza benzyny, nie powodowało zmian w sterowaniu pracą silnika niezależnie od paliwa.

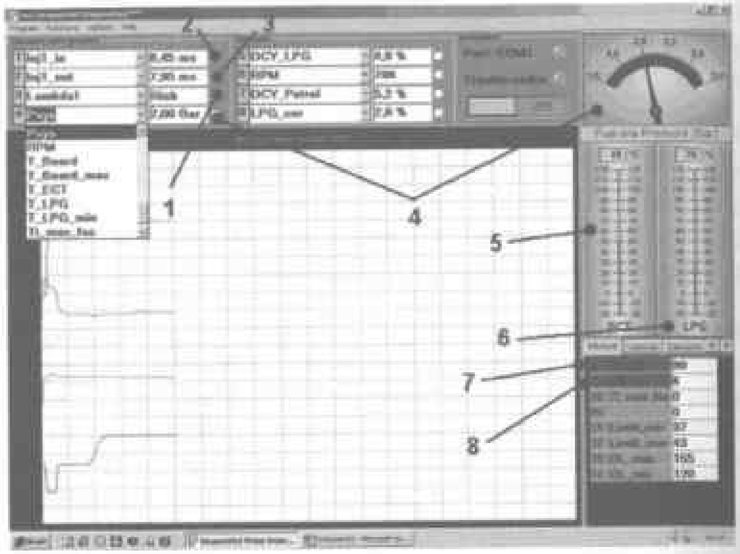
Sprawdzenie spełnienia tego warunku jest wykonywane za pomocą diagnoskopu podłączanego do złącza diagnostycznego instalacji LPG. Przeprowadzenie weryfikacji wymaga wykonania testu, polegającego na odczytaniu czasu trwania sygnału otwarcia wtryskiwacza benzyny podczas zasilania silnika benzyną oraz paliwem LPG, przy stałych parametrach pracy silnika (prędkość obrotowa oraz rozwijany moment). Jeżeli po przełączeniu paliw sygnał zmienia się, to jest to objaw niedokładnego dobrania regulacji układu wtryskowego LPG.

Charakterystykę dawkowania instalacji wtryskowej LPG koryguje się przez zmianę:
- wielkości wtryskiwacza LPG (rys. 4.19),
- ciśnienia LPG zasilającego wtryskiwacze,
- czasu otwarcia wtryskiwacza LPG w porównaniu z czasem trwania sygnału sterującego otwarciem wtryskiwacza benzyny.

Dobór pierwszych dwóch wielkości jest dokonywany przez producenta instalacji LPG, natomiast regulacja końcowa polega na regulacji sterownika instalacji LPG po zamontowaniu instalacji LPG w samochodzie. W tym celu silnik jest uruchamiany na benzynie i następnie przełączany na zasilanie LPG. Wstępne ustawienie sterownika instalacji LPG oraz dobór ciśnienia i rozmiaru wtryskiwaczy wystarcza do uruchomienia silnika samochodu przy zasilaniu LPG, natomiast zapewnienie prawidłowej pracy silnika na tym paliwie wymaga przeprowadzenia regulacji. Dopasowanie czasów trwania sygnałów sterujących wtryskiwaczami LPG i benzyny możliwe jest przez zmianę współczynnika czasu trwania wtrysku.



Rys. 4.19. Charakterystyki wtryskiwaczy



Rys. 4.20. Widok głównego okna programu do regulacji wtryskiwaczy

Współczynnik ten określa stosunek czasu sygnału sterującego wtryskiem LPG do czasu trwania sygnału sterującego wtryskiem benzyny. W podanym przykładzie jego wartość jest równa 90 (wartość RC_inj = 90%), czyli czas otwarcia wtryskiwacza LPG jest krótszy, niż czas otwarcia wtryskiwacza benzyny.

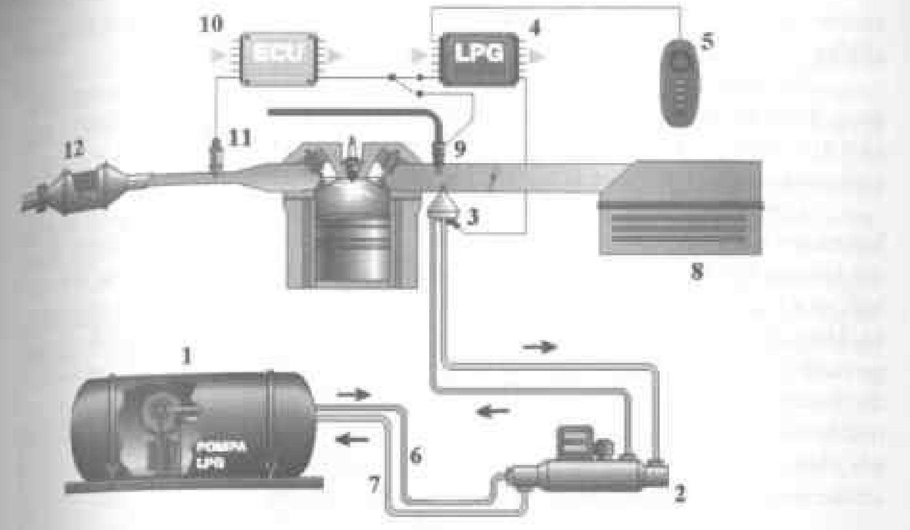
Jeżeli czas wtrysku benzyny wydłuża się po przełączeniu zasilania na LPG, to należy zwiększyć współczynnik czasu wtrysku i powtórnie wykonać porównanie pracy sterownika silnika po przełączeniu paliw. Zmiana tych czasów o mniej niż kilka procent po przełączeniu rodzaju paliwa, świadczy o poprawnie przeprowadzonej regulacji.

Innym parametrem możliwym do regulacji jest korekcja synchronizacji pracy wtryskiwacza LPG z czasem otwarcia wtryskiwacza benzyny przez zmianę parametru Off_inj.

Poza ustawieniami warunków przełączania paliw (temperatura reduktora), są to jedyne parametry zmieniane w sterowniku układu zasilania LPG. Wszystkie inne wielkości, których odczyt jest możliwy za pomocą diagnoskopu (rys. 4.20), mają wyłącznie charakter diagnostyczno-kontrolny.

4.2.2. Instalacja wtrysku fazy ciekłej firmy Vialle

Firma Vialle jako jedna z nielicznych zdecydowała się na wdrożenie do produkcji instalacji do wtrysku fazy ciekłej. Instalacja przedstawiona schematycznie na rys. 4.21 składa się ze zbiornika paliwa (1), w który wmontowano pompę paliwa, regulatora ciśnienia (2), przewodów (6, 7) i wtryskiwaczy LPG (3) sterowanych elektro-



Rys. 4.21. Schemat instalacji firmy Vialle
1 – zbiornik paliwa gazowego wraz z pompą LPG, 2 – regulator ciśnienia, 3 – wtryskiwacz LPG, 4 – sterownik instalacji LPG, 5 – przełącznik wyboru paliwa, 6 – przewód zasilający LPG, 7 – przewód powrotny LPG, 8 – filtr powietrza, 9 – wtryskiwacz benzyny, 10 – sterownik silnika, 11 – sonda lambda, 12 – reaktor katalityczny (katalizator)

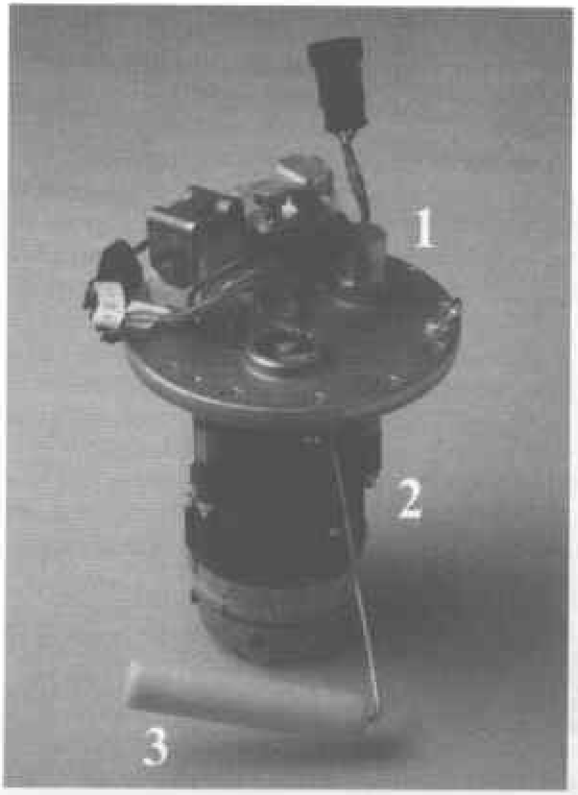


Fot. 4.11. Elementy składowe instalacji wtrysku fazy ciekłej zabudowane w komorze silnika

nicznie (4). Na fot. 4.11 pokazane są elementy tej instalacji montowane w komorze silnika.

Pozornie jest ona nie bardziej skomplikowana od układu wtryskowego benzyny. Należało jednak wykonać kosztowne prace rozwojowe, a konstruktorzy musieli rozwiązać liczne problemy, które nie występują w instalacjach LPG, w których realizowane jest sterowanie fazą gazową.

Instalacja ta przeznaczona jest do zasilania silników wyposażonych w wielopunktowy wtrysk benzyny i system OBD. Podobnie jak w instalacji firmy Prins nie istnieje konieczność stosowania emulatorów sond lambda. Instalacja jest jednak, w odróżnieniu od poprzednio opisywanej, przewidziana do danego typu silnika. Oznacza to, że dana instalacja może być montowana w samochodach określonego modelu wyposażonych w taki właśnie silnik. Do konkretnego modelu samochodu dostarczany jest komplet urządzeń wraz z oprogramowaniem, który należy zamontować, przestrzegając ściśle zaleceń producenta. Jakakolwiek zmiana położenia elementu w stosunku do zalecanej przez producenta spowoduje konieczność sztukowania przewodów gazowych lub/i wiązki przewodów elektrycznych.

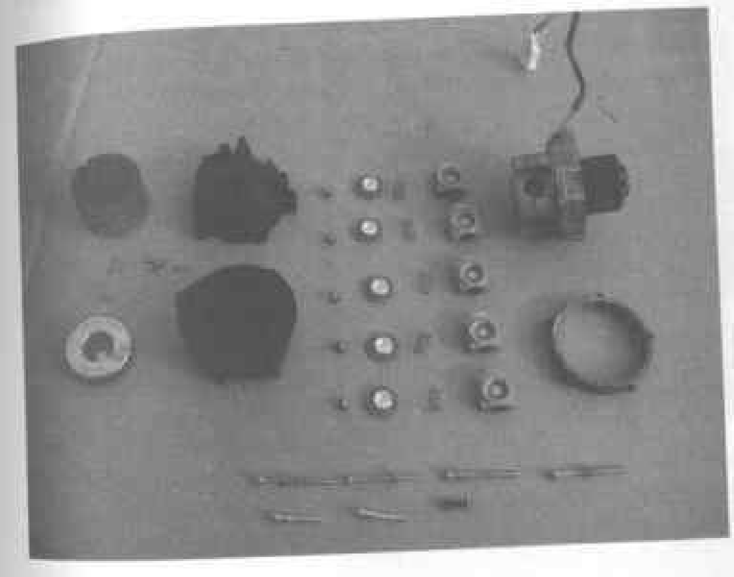


Fot. 4.12. Pompa LPG stanowiąca jeden zespół z wielozaworem
1 – wielozawór, 2 – pompa LPG, 3 – pływak zaworu ograniczającego napełnienie do 80% pojemności zbiornika

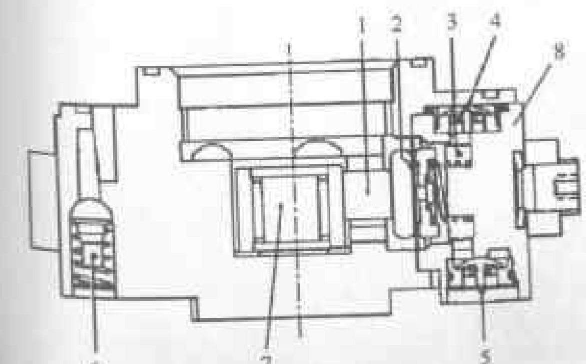
Pompa LPG

Pompa ciekłego LPG umieszczona jest w ciśnieniowym zbiorniku paliwa gazowego. Jest to pięciosekcyjna pompa przeponowa napędzana silnikiem prądu przemiennego (fot. 4.12, 4.13). Prąd przemienny zapewnia przetwornica DC/AC zmieniająca prąd stały z instalacji samochodowej w prąd przemienny, niezbędny do zasilania silnika napędzającego pompę paliwa. Wydajność pompy jest sterowana prędkością obrotową silnika prądu przemiennego, w zależności od chwilowego zapotrzebowania na paliwo.

Pompa tłoczy paliwo pod dużym ciśnieniem do regulatora ciśnienia, odpowiedzialnego za utrzymywanie ciśnienia LPG w instalacji na żądanym poziomie. Tak jak w układach wtrysku benzyny, wydajność pompy jest wyższa niż zapotrze-



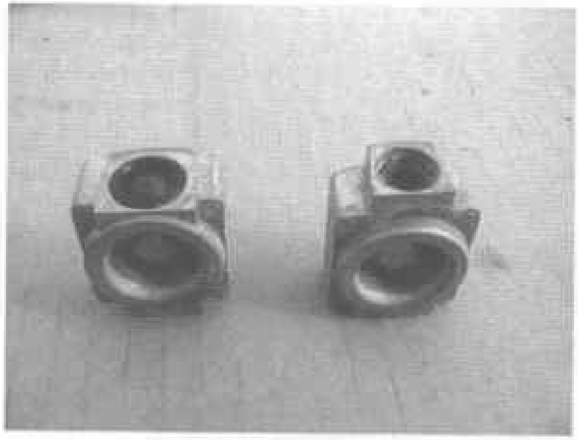
Fot. 4.13. Elementy składowe pompy LPG



Rys. 4.22. Przekrój pompy LPG
1 – popychacz, 2 – przepona, 3 – komora pompy, 4 – zawór tłoczący, 5 – zawór ssący, 6 – zawór bezpieczeństwa, 7 – mimośród napędzany silnikiem elektrycznym, 8 – korpus sekcji tłoczącej

bowanie silnika na paliwo. Jego nadmiar jest odprowadzany z powrotem do zbiornika paliwa. Paliwo jest wtryskiwane w postaci ciekłej do kolektora dolotowego.

Pompa jest zabezpieczana zaworem przelewowym (6, rys. 4.22) przed nadmiernym wzrostem ciśnienia. Sekcje tłoczące (8, rys. 4.22) są wykonane w kształcie kostek zamontowanych w gniazdach korpusu pompy (fot. 4.14), rozmieszczonych promieniowo w stosunku do wałka silnika. Pod nimi zamontowane są przepony (2, rys. 4.22) poruszane przez popychacze (1) napędzane przez mimośród (7) obracany przez silnik elektryczny pompy. Sekcje tłoczące pobierają LPG ze zbiornika i przetłaczają do kanałów wykonanych w obudowie pompy. Kierunek przepływu LPG jest zapewniony przez dwa zawory (4, 5, rys. 4.22). Dalej LPG przepływa kanałami w obudowie pompy do elektromagnesu wychwytującego cząstki stałe oraz do filtra



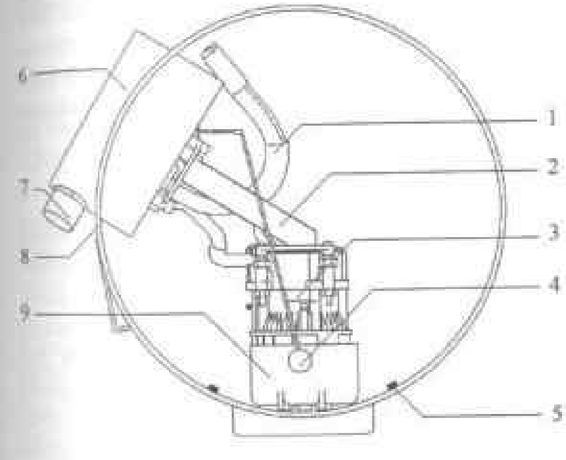
Fot. 4.14. Sekcje tłoczące



Fot. 4.15. Pełnoprzepływowy filtr paliwa

pełnego przepływu (fot. 4.15) zamontowanego w pokrywie pompy, a stamtąd przez króciec do wielozaworu.

Przy konstruowaniu pompy należało rozwiązać problem jej smarowania. LPG ma znikome właściwości smarne, dlatego też części ruchome silnika, krzywka oraz popychacze są smarowane czynnikiem znajdującym się w obudowie pompy i przenoszonym na powierzchnię wałka silnika elektrycznego za pomocą kanału śrubowego. Niekorzystna jest obecność LPG w części, w której znajduje się silnik elektryczny, ponieważ powoduje to straty czynnika smarnego. Dlatego też silnik umieszczono w szczelnej obudowie, która ma wyprowadzenie odpowietrzenia ponad lustro fazy ciekłej LPG (1, rys. 4.23). Nie jest to oczywiście jednoznaczne z hermetycznym zamknięciem obudowy pompy, ponieważ LPG wewnątrz silnika skrapla się i paruje, lecz pozwala na znaczne ograniczenie strat czynnika smarnego.



Rys. 4.23. Pompa LPG umieszczona w zbiorniku
1 – przewód odpowietrzający, 2 – wspornik pompy, 3 – pompa LPG, 4 – pływak zaworu ograniczającego napełnienie zbiornika do 80% pojemności, 5 – magnes, 6 – korpus wielozaworu, 7 – otwór służący do przeprowadzenia przewodów gazowych od wlewu LPG i zasilającego, 8 – zbiornik LPG, 9 – obudowa silnika elektrycznego pompy



Fot. 4.16. Silnik prądu przemiennego pompy LPG

Z tego powodu należy pamiętać, że przy odwróceniu zbiornika LPG „do góry nogami" może nastąpić wypłynięcie środka smarnego z obudowy silnika elektrycznego. Taka sytuacja może wystąpić na przykład po dachowaniu samochodu, wymontowaniu zbiornika przez lakiernika itp.

Pompę napędza silnik elektryczny zasilany prądem przemiennym o regulowanej częstotliwości, dzięki czemu jest możliwe sterowanie jego prędkością obrotową (fot. 4.16). Prędkość obrotowa jest regulowana przez sterownik instalacji LPG, w zależności od zapotrzebowania silnika samochodu na paliwo. Elementy elektroniki były pierwotnie umieszczane w zbiorniku LPG; doświadczenia zebrane w czasie eksploatacji umożliwiły przeniesienie elektroniki na pokrywę wielozaworu.

Pompa pracująca w zbiorniku paliwa oraz obieg paliwa LPG przez elementy instalacji gazowej umieszczone w komorze silnika, powodują nagrzewanie się LPG i co za tym idzie wzrost ciśnienia w zbiorniku. Stosowane obecnie silniki pompy mają niewielką moc (ok. 25 W według danych producenta). Podczas poboru fazy ciekłej LPG ze zbiornika, na skutek zmniejszania się objętości przez nią zajmowanej, następuje jej parowanie w zbiorniku, co ma działanie chłodzące zbiornik paliwa. Można stwierdzić, że wspomniane wyżej nagrzewanie paliwa nie ma istotnego wpływu na działanie instalacji.

Regulator ciśnienia

Jak opisano w rozdziale 2 poświęconym właściwościom LPG, ciśnienie, a zatem ilość odparowanego LPG w zbiorniku, zależy od temperatury gazu oraz jego składu frakcyjnego. Ponadto, niezależnie od ciśnienia w zbiorniku paliwa gazowego, jeżeli LPG znajdujące się w przewodzie paliwowym połączonym ze zbiornikiem zostanie podgrzane powyżej temperatury wrzenia przy danym ciśnieniu (patrz tabela 2.2 rozdział 2), spowoduje to parowanie LPG w tym przewodzie. Efekt ten jest znany z samochodów mających gaźnikowy układ zasilania, w których było możliwe odparowanie paliwa w przewodzie paliwa lub pompie paliwa i powstanie tzw. „korków parowych", które utrudniały lub uniemożliwiały przepływ paliwa do gaźnika.

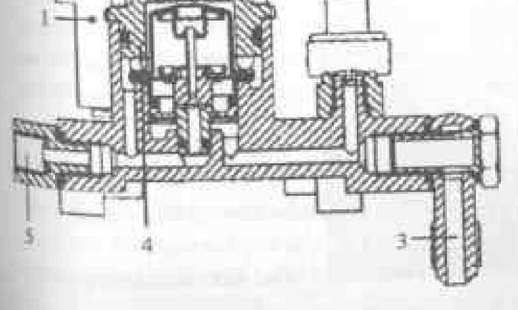
W przypadku pracy instalacji wyposażonej w parownik i zasilanej pod ciśnieniem panującym w zbiorniku, paliwo LPG jest odparowywane za zaworem pierwszego stopnia, zatem dostarczenie do parownika paliwa w postaci cieczy lub cieczy z częścią fazy gazowej nie ma wpływu na pracę urządzenia. Natomiast w przypadku omawianej instalacji firmy Vialle, która podaje ściśle określoną ilość gazu w fazie ciekłej, powstanie fazy gazowej spowodowałoby zakłócenia w dopływie paliwa do silnika, nawet w stopniu uniemożliwiającym jego pracę. Jest to pierwszy problem, który należało rozwiązać. Dlatego w celu uniknięcia przechodzenia fazy ciekłej w gazową w przewodach paliwa na skutek ich nagrzewania, zdecydowano się na zwiększenie ciśnienia fazy ciekłej o 0,5 MPa powyżej ciśnienia panującego w zbiorniku. Ponadto podwyższenie ciśnienia zasilania pozwala na zmniejszenie wymiarów wtryskiwaczy, co jest szczególnie ważne w przypadku, gdy instalacje LPG muszą być dostosowane do montażu w samochodach, w których w komorach silników i tak jest już bardzo ciasno.



Fot. 4.17. Regulator ciśnienia firmy Vialle

Za utrzymywanie wspomnianego wyżej nadciśnienia w stosunku do ciśnienia panującego w zbiorniku odpowiedzialny jest regulator ciśnienia (fot. 4.17, rys. 4.24). Elementem regulacyjnym jest umieszczony w nim sprężynowy zawór upustowy (4, rys. 4.24). Sprężyna tego zaworu jest tak dobrana, że otwiera się on po przekroczeniu różnicy ciśnień wynoszącej 0,5 MPa. Przed tym zaworem zamontowany jest czujnik ciśnienia paliwa połączony ze sterownikiem instalacji LPG (2, rys. 4.24). Oba elementy są zamontowane na linii powrotu regulatora.

Według producenta, różnica ciśnień 0,5 MPa między zbiornikiem paliwa a instalacją zabezpiecza przed parowaniem paliwa w instalacji i zapewnia niezbędne do wtrysku paliwa ciśnienie. Ciśnienie w instalacji może zatem przyjmować wartości od 0,7 do 3 MPa. Podczas silnych mrozów, w przypadku zatankowania paliwa o małej zawartości propanu, ciśnienie w zbiorniku może być niższe od zakładanych 0,2 MPa, zatem ciśnienie w instalacji może nie osiągnąć wymaganych 0,7 MPa (patrz rozdział 2).



Rys. 4.24. Przekrój regulatora ciśnienia firmy Vialle
1 – elektrozawór, 2 – czujnik ciśnienia LPG, 3 – króciec powrotu LPG od wtryskiwaczy, 4 – zawór regulujący ciśnienie, 5 – króciec powrotu LPG do zbiornika

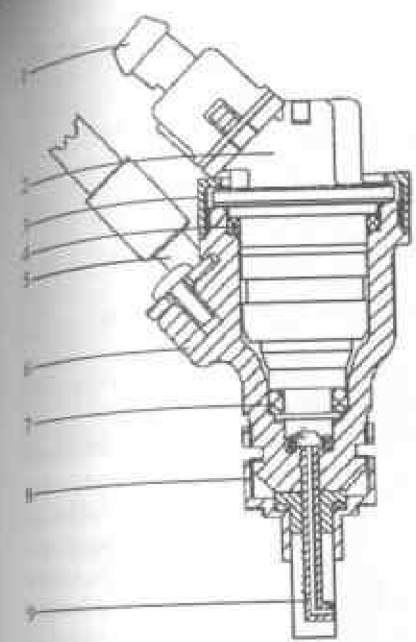
Wtryskiwacz LPG

Zasada działania wtryskiwacza nie odbiega od istniejących rozwiązań wtryskiwaczy benzyny. Różnicą jest jedynie ciśnienie w układzie zasilania. W przypadku układu LPG ciśnienie to może osiągać 300 kPa, czyli jest kilkakrotnie wyższe od panującego w układach zasilania benzyną. Niezbędne okazało się opracowanie wtryskiwacza LPG o większej sile podnoszącej iglicę, w porównaniu z wtryskiwaczem benzyny, a zarazem o niewielkich wymiarach. Podniesienie iglicy wtryskiwacza wymaga pokonania siły sprężyny oraz ciśnienia w układzie zasilania.

Ponieważ iglica wtryskiwacza poruszana jest za pomocą cewki, dlatego też dla uzyskania dużej siły należało skonstruować wtryskiwacz o niskiej rezystancji. Wtryskiwacze zaprojektowane przez firmę Vialle mają rezystancję 1,8 Ω. Do podniesienia iglicy wymagają one natężenia prądu rzędu 8 A, natomiast do podtrzymania otwarcia wtryskiwacza wystarczające jest niższe natężenie prądu. W zależności od wersji sterownika, prąd może być ograniczany po otwarciu wtryskiwacza do niższej wartości bądź wtryskiwacz jest zasilany impulsami pozwalającymi na podtrzymanie otwarcia. Niezależnie od wersji doprowadziło to do ograniczenia wydzielania się ciepła w cewce wtryskiwacza.



Fot. 4.18. Wtryskiwacz LPG



Rys. 4.25. Przekrój wtryskiwacza LPG
1 – złącze elektryczne, 2 – wtryskiwacz, 3 – pierścień mocujący, 4 – uszczelniacz, 5 – doprowadzenie LPG, 6 – oprawa wtryskiwacza, 7 – uszczelniacz, 8 – adapter, 9 – końcówka wtryskiwacza

Przy czasach wtrysku liczonych w milisekundach, czas niezbędny do otwarcia wtryskiwacza po otrzymaniu sygnału elektrycznego jak i do jego zamknięcia jest istotny dla określenia wydatku przypadającego na wtrysk. Wydatek ten zależy od czasu występowania sygnału elektrycznego, napięcia oraz ciśnienia paliwa. Funkcja wprowadzania właściwych korekcji jest realizowana przez sterownik układu zasilania LPG, identycznie jak ma to miejsce w układzie wtrysku benzyny.

Istnieje kilka wielkości wtryskiwaczy dobieranych doświadczalnie do typu silnika, w którym będą montowane. Kryterium jest wydatek wtryskiwaczy LPG w stosunku do wydatku wtryskiwaczy benzyny. Czas wtrysku benzyny powinien być dłuższy niż czas wtrysku LPG przy tych samych parametrach pracy silnika, przy najniższym założonym ciśnieniu paliwa gazowego. Zapewnia to możliwość dostarczania LPG w ilości odpowiadającej zapotrzebowaniu silnika spalinowego. Gdyby warunek ten nie był spełniony, to w momencie kiedy wtryskiwacz benzyny otwarty jest cały czas (na przykład przy pełnej mocy), wtryskiwacz LPG musiałby być otwarty dłużej niż benzynowy, co nie jest oczywiście możliwe.

Montaż wtryskiwaczy LPG

Wtrysk fazy ciekłej powoduje, że LPG przechodząc przez dyszę wtryskiwacza rozpręża się do ciśnienia panującego w kolektorze dolotowym, co powoduje gwałtowne parowanie ciekłego LPG i co za tym idzie odprowadzanie znacznych ilości ener-

gii. Składniki LPG przechodzą ze stanu ciekłego w gazowy przy ciśnieniach niższych od 0,1 MPa w temperaturze poniżej 0°C (propan: –42°C; butan: –5°C). Temperatura ciekłego LPG gwałtownie parującego w kolektorze dolotowym jest więc ujemna! Występuje zatem niebezpieczeństwo oblodzenia kolektora.

Kolektory dolotowe używane w silnikach gaźnikowych były z reguły ogrzewane za pomocą cieczy z układu chłodzenia silnika lub przez bezpośrednią bliskość kolektora wylotowego. Były one wykonane z metalu, a zatem z materiałów dobrze przewodzących ciepło. W silnikach gaźnikowych długa droga w kolektorze dolotowym była wykorzystywana do odparowania benzyny w postaci rozpylonej, jak również płynącej po ściankach kolektora. Niezbędne było zatem utrzymanie odpowiednio wysokiej temperatury ścianek kolektora dolotowego oraz temperatury powietrza zasysanego do silnika, w celu polepszenia odparowania paliwa, jak również dla wyeliminowania możliwości oblodzenia kolektora dolotowego.

Wprowadzenie wielopunktowego wtrysku benzyny do kolektora dolotowego, ze skierowaniem strumienia wtryskiwanego paliwa bezpośrednio na zawór dolotowy, spowodowało odstąpienie od starych rozwiązań i zastąpienie kolektorów metalowych kolektorami z tworzyw sztucznych. Jako przewody dostarczające powietrze do silnika kolektory te spełniają swą rolę. Tworzywa sztuczne mają jednak mniejszą przewodność cieplną niż metale. Wtryskiwanie zimnego czynnika na ściankę powoduje szybkie miejscowe wychłodzenie powierzchni kolektora, co powoduje tworzenie się lodu na ściance (zamrażana jest para wodna obecna w powietrzu pobieranym przez silnik). Nawet jeżeli nie spowodowałoby to zablokowania bądź zwężenia kolektora, niebezpieczne jest samo tworzenie się lodu, odrywanie od ścianek układu dolotowego i wpadanie do cylindrów.

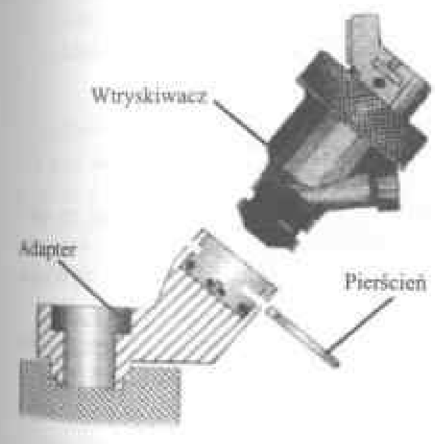
Z tego powodu najkorzystniejsze położenie wtryskiwacza to takie, które umożliwia wtrysk paliwa bezpośrednio na zawór dolotowy. Wtedy czas przebywania paliwa w kolektorze dolotowym jest najkrótszy. Ale miejsce to zostało już wykorzystane przez wtryskiwacz benzyny.

Rozwiązaniem jest opracowany przez firmę Vialle układ wtrysku, który ma za zadanie takie wtryśnięcie LPG, aby uniknąć opisanych powyżej problemów. Wymagało to wykonania badań na każdym typie silnika, do którego była przygotowywana instalacja LPG. Stosuje się kilka technologii montażu wtryskiwaczy.

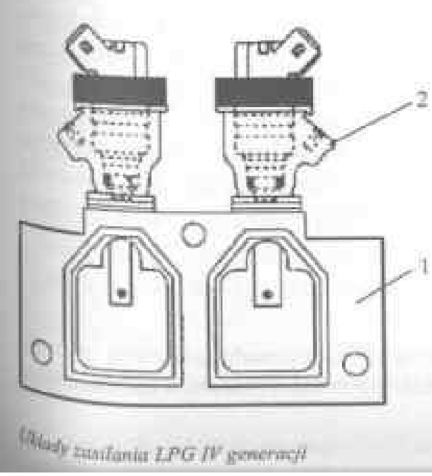
- W kolektorze dolotowym – w tym rozwiązaniu osadza się wtryskiwacze w gniazdach montowanych na ściankach kolektora dolotowego. Położenie tych gniazd jest określone przez producenta instalacji LPG do tego stopnia, że do dokładnego umieszczenia wtryskiwaczy w kolektorze opracowano przyrządy wiertarskie. Po zamontowaniu kolektora w uchwycie wykonuje się wiercenia, a następnie, stosując narzędzia specjalne, osadza się gniazdo wtryskiwacza. Dla krajów UE producent wykonuje wszystkie prace modyfikujące kolektory we własnej fabryce (Holandia). Ze względu na trudności transportu (czas) kolektorów do Holandii i z powrotem, niektóre częściej stosowane przyrządy wiertarskie wraz z kompletnym wyposażeniem do osadzania gniazd wtryskiwaczy są w wyposażeniu firm w Polsce.



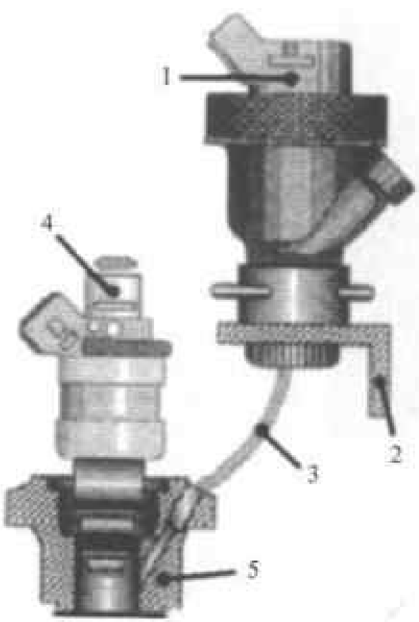
Fot. 4.19. Wtryskiwacze zamontowane w gniazdach wciśniętych w kolektor dolotowy



Rys. 4.26. Wtryskiwacz LPG mocowany wspólnie z wtryskiwaczem benzyny w adapterze



Rys. 4.27. Wtryskiwacze LPG (2) mocowane w przekładce (1)



Rys. 4.28. Wtryskiwacz LPG mocowany na wsporniku – doprowadzenie LPG do kolektora za pomocą elastycznych przewodów
1 – wtryskiwacz LPG, 2 – wspornik, 3 – przewód elastyczny, 4 – wtryskiwacz benzyny, 5 – gniazdo wtryskiwacza benzyny

- Wtryskiwacz LPG pod wtryskiwaczem benzyny – rozwiązanie to polega na osadzeniu w gnieździe wtryskiwacza benzyny elementu umożliwiającego zamontowanie wtryskiwacza benzyny i LPG (tzw. adaptera) i wspólne wykorzystywanie fabrycznie wykonanego otworu,
- Wtryskiwacz w przekładce – stosowane są przekładki montowane między kolektor dolotowy a głowicę silnika, w których umieszcza się wtryskiwacze LPG.
- Przewody elastyczne.

Najczęściej jest stosowana metoda polegająca na zamontowaniu do kolektora dolotowego gniazd do obsadzenia wtryskiwaczy.

Instalacja wtrysku fazy ciekłej firmy Vialle jest przygotowywana do każdego typu samochodu oddzielnie. W związku z tym liczba przygotowanych wersji instalacji jest ograniczona. Innym problemem dla właścicieli, którym zależy na szybkim montażu jest to, że nie do wszystkich modeli objętych ofertą firmy Vialle wykonanie gniazd wtryskiwaczy jest możliwe w Polsce. Jeżeli brak jest w Polsce przyrządu wiertarskiego, kolektor dolotowy musi być wysłany do producenta (Holandia), który dokonuje montażu gniazd wtryskiwaczy. Można również zamówić gotowy kolektor.

Przewody LPG

Niektóre zanieczyszczenia znajdujące się w LPG powodują korozję przewodów miedzianych, co z kolei może prowadzić do zanieczyszczenia układu zasilania[5]. Dlatego też firma Vialle łączy elementy instalacji za pomocą ciśnieniowych przewodów elastycznych wykonanych z tworzywa sztucznego, zamiast zwykle stosowanej miedzi.

Sterownik układu zasilania LPG

Elektroniczny sterownik układu wtryskowego LPG realizuje następujące funkcje:
- sterowanie pracą wtryskiwaczy LPG – przetwarzanie czasu otwarcia wtryskiwaczy benzyny na czas otwarcia wtryskiwaczy LPG, z uwzględnieniem korekcji ciśnienia paliwa oraz napięcia w instalacji elektrycznej samochodu;
- sterownie przełączaniem paliw – rozruch silnika następuje zawsze przy zasilaniu benzyną, natomiast przełączenie na LPG następuje po nagrzaniu silnika. Przełączanie może być sterowane również ręcznie przez kierowcę. W przypadku braku wystarczającego ciśnienia LPG sterownik przełącza zasilania na benzynę;
- zasilanie i sterowanie prędkością obrotową silnika pompy paliwa, czyli sterowanie jej wydatkiem;
- zamykanie zaworów LPG w przypadku wyłączenia silnika;
- odcięcie wtryskiwaczy benzyny – emulator wtrysku.

Do oceny momentu przełączenia na gaz analizowany jest sygnał z sondy lambda. Sygnał z sondy zaczyna oscylować, gdy sonda jest wystarczająco gorąca i gdy sterownik silnika kończy pierwszą fazę nagrzewania silnika, w czasie której wzbogaca mieszankę. Czas pracy na benzynie po rozruchu zawiera się od ok. 4 minut w przypadku uruchamiania zimnego silnika przy temperaturze otoczenia -20°C, do 5 sekund przy uruchamianiu nagrzanego silnika.

Układ zasilania LPG w niewielkim stopniu ingeruje w instalację elektryczną samochodu. Poza zasilaniem elektrycznym oraz odcięciem wtryskiwaczy benzyny niezbędne jest jedynie dołączenie do sterownika sygnału z sondy lambda (bez konieczności rozcinania przewodu).

Moc silnika przy zasilaniu benzyną nie jest zmniejszona, gdyż nie ma elementów powodujących zwiększenie oporów przepływu w układzie dolotowym. W przypadku zasilania silnika paliwem LPG moc jest zdaniem firmy Vialle porównywalna z mocą silnika zasilanego benzyną. Jest to prawdopodobne, biorąc pod uwagę fakt, że w warunkach maksymalnej mocy następuje wzbogacenie mieszanki palnej LPG z powietrzem, odpowiadające wzbogaceniu mieszanki przy zasilaniu benzyną, a gwałtowne parowanie LPG wtryśniętego do kolektora dolotowego odprowadza więcej ciepła w kolektorze dolotowym i suwie ssania niż parująca benzyna, przyczyniając się do lepszego schłodzenia ładunku cylindra.

Układ wtrysku fazy ciekłej LPG nie wpływa na pracę sterownika silnika, lecz w pełni z niego korzysta. W związku z powyższym sterownik silnika sprawuje wciąż pełną kontrolę nad silnikiem w pełnym zakresie, włączając w to ogranicznik prędkości obrotowej, odcinanie paliwa podczas hamowania silnikiem, wzbogacenie

[5] W projekcie normy dotyczącej paliw węglowodorowych omówionej w rozdziale 2, wprowadzono badanie działania korodującego LPG na miedź.

w warunkach pełnej mocy, działanie ASR, systemów kontroli trakcji oraz systemu autodiagnostyki silnika (w tym OBD) również przy zasilaniu LPG. Istotne jest również to, że fazy nieustalone, tj. fazy w których nagle zmienia się obciążenie silnika, są pod kontrolą sterownika silnika, który swój program zawdzięcza wielogodzinnym testom w różnych warunkach. Układ zasilania tego typu zabezpiecza przed „strzałem".

Instalacja wtrysku fazy ciekłej LPG firmy Vialle jest samoregulująca. Filtr LPG w zbiorniku paliwa przewidziany jest na czas eksploatacji samochodu, a obsługa instalacji polega na sprawdzeniu poprawności działania tak jak układu wtrysku benzyny. Należy podkreślić, że sprawność działania instalacji LPG zależy ściśle od sprawności układu zasilania benzyną.

ROZDZIAŁ 5

Elementy układów zasilania LPG

5.1. Zbiornik LPG

Wielkość, kształt i miejsce mocowania zbiornika paliwa gazowego nie mają wpływu na pracę układu zasilania LPG. W doborze zbiornika właściciel samochodu jest ograniczony tylko konstrukcją samochodu oraz wymaganiami zabudowy zbiornika LPG. Wyjątkiem od reguły jest instalacja wtrysku fazy ciekłej firmy Vialle. Z uwagi na specyficzną konstrukcję zbiornika zawierającego pompę paliwa LPG, oferta tak przygotowanych zbiorników jest ograniczona.

Decyzja o wielkości i miejscu montażu zbiornika paliwa gazowego wpływa na komfort używania samochodu, zatem należy rozważyć wady i zalety możliwych do zastosowania rozwiązań.

5.1.1. Wielkość zbiornika

Wielkość zbiornika paliwa gazowego powinna być dostosowana do zużycia paliwa przez samochód. Aby zasięg samochodu zasilanego LPG był zbliżony do zasięgu przy zasilaniu benzyną, należy zamontować zbiornik o pojemności wodnej[1] równej pojemności zbiornika benzyny pomnożonej przez ok. 1,6. Jeżeli samochód jest wyposażony w zbiornik benzyny o pojemności 40 dm^3, to równoważny pod względem zasięgu samochodu zbiornik LPG powinien mieć około 64 dm^3 pojemności wodnej.

Czy przebieg samochodu między tankowaniami jest istotny dla użytkowania samochodu? Na to pytanie musi sobie odpowiedzieć właściciel samochodu. Sieć stacji tankowania jest tak gęsta, że na znacznym obszarze kraju łatwiej jest odnaleźć stację tankowania LPG, niż stację benzynową. Duży zbiornik LPG to zwiększenie

[1] Pojemność wodna – rzeczywista pojemność zbiornika wynikająca z jego wymiarów wewnętrznych. Pojemność zbiornika – maksymalna dopuszczalna objętość zbiornika wypełniona fazą ciekłą LPG, ograniczona zaworem napełnienia do 80% pojemności wodnej.

masy pojazdu oraz utrata powierzchni użytkowej, w przypadku zbiornika LPG montowanego wewnątrz pojazdu.

Jeżeli istotna jest wielkość zbiornika paliwa gazowego, to pozostaje zakupić duży zbiornik walcowy. Pojemność zbiornika toroidalnego, montowanego w miejscu przeznaczonym na koło zapasowe jest ograniczona gabarytami wnęki.

5.1.2. Jaki wariant zabudowy wybrać?

Większość zbiorników montowanych do samochodów to zbiorniki toroidalne i walcowe. Na fotografiach 5.1 do 5.10 i rysunku 5.1. przedstawiono najczęściej spotykane rozwiązania.

- Zbiornik walcowy montowany w poprzek samochodu za oparciem tylnego siedzenia (fot. 5.1).
  Jest to sposób praktyczny w przypadku samochodów z nadwoziem typu sedan, szczególnie w przypadku braku możliwości składania oparcia siedzenia. W samochodach, w których można składać oparcie siedzenia tylnego, zbiornik LPG przeszkadza w przewożeniu ładunków o większych gabarytach.
- Zbiornik walcowy montowany wzdłużnie w bagażniku (fot. 5.2).
  Metoda stosowana w samochodach, które mają możliwość składania oparcia siedzenia tylnego. Jeżeli oparcie dzieli się niesymetrycznie, celowy jest montaż za węższą częścią oparcia.
- Zbiornik walcowy montowany wzdłuż samochodu za wnęką tylnego koła (fot. 5.3).
  Stosowane we wszystkich rodzajach nadwozi samochodów osobowych. Zaletą jest dobry dostęp do zbiornika paliwa oraz niewielkie ograniczenie objętości użytkowej bagażnika. Wadą jest natomiast niewielka pojemność zbiornika.
- Zbiornik walcowy montowany w przestrzeni bagażowej za oparciem siedzenia tylnego (fot. 5.4).
  Montaż zbiornika LPG w przedniej części pojazdu jest zabroniony. Samochody z silnikiem umieszczonym z tyłu mają bagażnik w przedniej części nadwozia.



Fot. 5.1. Zbiornik walcowy zamontowany poprzecznie w bagażniku za oparciem tylnego siedzenia



Fot. 5.2. Zbiornik walcowy zamontowany wzdłużnie w bagażniku



Fot. 5.3. Zbiornik walcowy zamontowany wzdłużnie w bagażniku za wnęką tylnego koła



Fot. 5.4. Zbiornik walcowy umieszczony w przestrzeni bagażowej za oparciem siedzenia tylnego



Fot. 5.5. Zbiornik walcowy zamontowany wzdłuż samochodu na tylnej kanapie

wozia. Powoduje to niekiedy problem ze znalezieniem miejsca do montażu zbiornika zgodnie z przepisami. Niektóre samochody mają dodatkową przestrzeń bagażową za oparciem tylnego siedzenia (np. Škoda 105). Jest to miejsce znakomicie nadające się na montaż zbiornika paliwa gazowego. Takie rozwiązanie nie ogranicza możliwości wykorzystania przestrzeni ładunkowej w bagażniku głównym.

- Zbiornik walcowy montowany na kanapie siedzenia tylnego (fot. 5.5).
  Metoda stosowana w samochodach Polski Fiat 126p. W tym samochodzie nie ma przestrzeni bagażowej za oparciem siedzenia tylnego, a jak wspomniano przepisy zabraniają montowania zbiornika w przedniej części pojazdu.
- Zbiornik walcowy montowany w bagażniku w przedniej części pojazdu (fot. 5.6).
  Metoda niezgodna z przepisami. Nie powinna być stosowana. Jest jednak czasami spotykana, szczególnie w samochodach Polski Fiat 126p.



Fot. 5.6. Zbiornik walcowy zamontowany poprzecznie w bagażniku znajdującym się z przodu samochodu

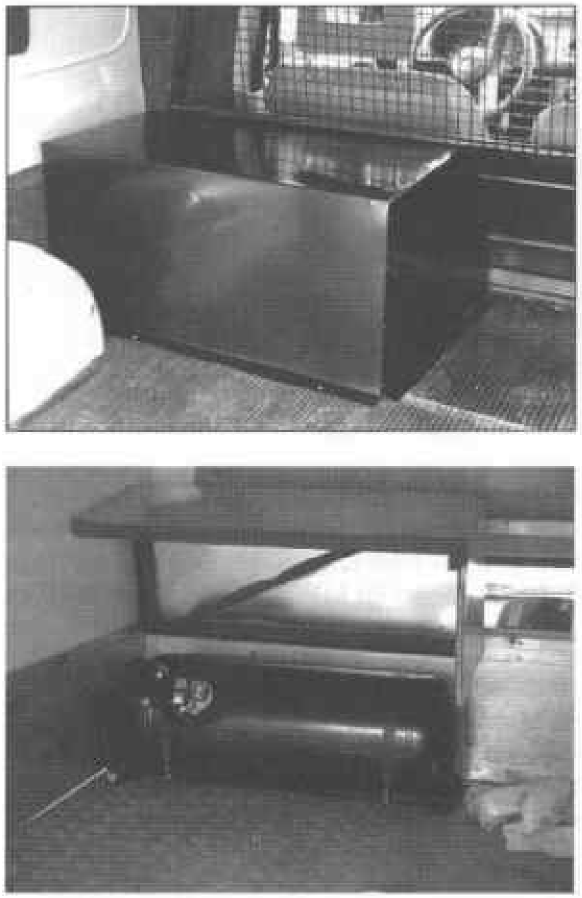


Fot. 5.7. Zbiornik toroidalny zamocowany we wnęce koła zapasowego

- Zbiornik toroidalny montowany w miejscu koła zapasowego (fot. 5.7).
  Jest to jeden z najczęściej stosowanych sposobów montowania zbiorników toroidalnych. Zaletą tej metody jest niezajmowanie miejsca w bagażniku przez zbiornik. Wadą jest brak odpowiedniego miejsca na koło zapasowe. Najczęściej jest więc wożone za oparciem jednego z przednich siedzeń lub w bagażniku, gdzie zajmuje część jego przestrzeni oraz przesuwa się podczas jazdy, zagrażając przewożonym przedmiotom. Środkiem zaradczym jest zakup koła dojazdowego o mniejszych gabarytach i mocowanie go w bagażniku. Polecane jest stosowanie pokrowca na koło zapasowe. W przypadku konieczności wymiany, brudne koło nie zanieczyści tapicerki bagażnika.
- Zbiornik toroidalny podwieszony pod pojazdem (fot. 5.8).
  Często jest to miejsce przeznaczone do wożenia koła zapasowego. Przy takim sposobie montażu należy zwrócić szczególną uwagę na wymagania zawarte w przepisach (tabela A.2, dodatek A). Jeżeli odległość między zbiornikiem LPG



Fot. 5.8. Zbiornik toroidalny podwieszony pod samochodem



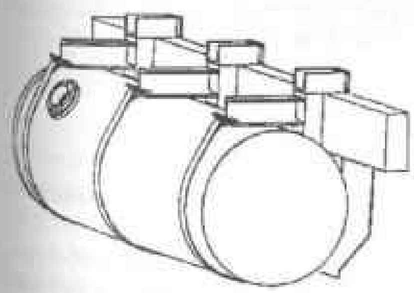
Fot. 5.9. Przykłady montażu zbiornika walcowego w przestrzeni ładunkowej

a zbiornikiem benzyny jest mniejsza niż 5 cm, musi być stosowana osłona metalowa. W przypadku gdy odległość zbiornika LPG od układu wylotowego jest mniejsza niż 10 cm, należy stosować osłonę termiczną. Zaleca się stosowanie osłony armatury zbiornika LPG. Przedstawiony na fot. 5.8 zbiornik jest wyposażony w osłonę zbiornika z tworzywa sztucznego, osłonę wielozaworu oraz ekran termiczny wykonany z blachy, umieszczony między tłumikiem układu wylotowego a zbiornikiem. Położenie wielozaworu zapewnia łatwy dostęp do zaworów odcinających.

- Zbiornik walcowy montowany w przestrzeni ładunkowej (fot. 5.9).
  Sposób montażu stosowany w samochodach dostawczych. Zbiornik w przestrzeni ładunkowej wymaga stosowania obudowy zabezpieczającej przed uszkodzeniem osprzętu zbiornika przez przewożony ładunek. Rozwiązanie ogranicza przestrzeń ładunkową.
- Zbiornik walcowy montowany w przestrzeni pasażerskiej (fot. 5.10).
  W samochodzie osobowym z nadwoziem typu furgon zbiornik walcowy umieszczany jest niekiedy w przestrzeni pasażerskiej.



Fot. 5.10. Zbiornik walcowy umieszczony wzdłuż boku samochodu w przestrzeni pasażerskiej



Rys. 5.1. Mocowanie walcowego zbiornika LPG do ramy samochodu

- Dla samochodu ciężarowego skrzyniowego optymalnym rozwiązaniem jest umieszczenie zbiornika paliwa gazowego pod przestrzenią ładunkową (ryc. 5.1).

5.1.3. Zbiornik paliwa w samochodzie czy na zewnątrz?

W okresie zimowym, w przypadku znacznego spadku temperatury otoczenia mogą pojawić się problemy z użytkowaniem układu zasilania gazem. Większość układów LPG jest zasilana pod wpływem ciśnienia panującego w zbiorniku. Na skutek ochło-

dzenia paliwa zmniejsza się ciśnienie w zbiorniku (patrz rozdział 2), co może ograniczyć wydatek paliwa dostarczanego do silnika. W zależności od konstrukcji układu oraz ciśnienia w zbiorniku, może to ograniczyć moc silnika, być przyczyną „strzału", powodować automatyczne przełączanie się zasilania z LPG na benzynę lub uniemożliwić pracę silnika przy zasilaniu LPG.

W przypadku zaistnienia takich warunków najwięcej kłopotów mają kierowcy, którzy swoje samochody garażują pod chmurką, a zbiorniki LPG są zamontowane na zewnątrz pojazdu. Wtedy jedynym ratunkiem jest zatankowanie paliwa o większej zawartości propanu. Jeżeli zbiornik zamontowany jest w ogrzewanej części nadwozia, to podczas jazdy przy zasilaniu silnika benzyną i nagrzaniu wnętrza pojazdu, możliwe jest ogrzanie zbiornika do temperatury umożliwiającej pracę silnika przy zasilaniu LPG. Zbiornik ma znaczną bezwładność cieplną, dlatego też skuteczność tej metody zależy od wydajności układu ogrzewania pojazdu i długości trasy.

W najlepszej sytuacji są kierowcy dysponujący ogrzewanym garażem. Jeżeli do tego zbiornik LPG jest zamontowany w ogrzewanej części nadwozia, to nie będzie się on wychładzał i umożliwi eksploatację samochodu przy zasilaniu LPG niezależnie od temperatury zewnętrznej oraz składu paliwa. Natomiast, gdy zbiornik zamontowany został w nieogrzewanej części nadwozia lub na zewnątrz, to przy dłuższych trasach może nastąpić wychłodzenie paliwa LPG w stopniu utrudniającym pracę silnika przy zasilaniu tym paliwem.

Silne mrozy nie są często spotykane w Polsce, a skład paliwa LPG przeważnie jest dostosowany do występujących temperatur otoczenia, zatem utrudnienia w korzystaniu z układu zasilania LPG związane z niską temperaturą powietrza występują w wyjątkowych wypadkach.

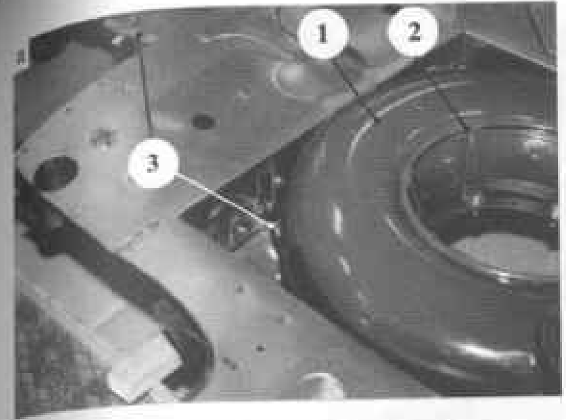
Wady tej nie mają układy wtrysku fazy ciekłej LPG. Pompa paliwa, zamontowana w zbiorniku paliwa gazowego, zapewnia odpowiednie do działania instalacji LPG ciśnienie, niezależnie od ciśnienia par nasyconych paliwa LPG w zbiorniku paliwa gazowego.

5.1.4. Mocowania zbiornika paliwa gazowego

Zbiornik paliwa gazowego jest największym i najcięższym elementem układu zasilania LPG.

Masa średniej wielkości zbiornika LPG o pojemności wodnej 40 dm^3, wyposażonego w wielozawór, wynosi ok. 20 kg, natomiast masa zbiornika z paliwem przekracza 35 kg. Tak ciężki przedmiot musi być właściwie zamocowany do konstrukcji samochodu. Przepisy dotyczące montażu zbiorników do samochodów osobowych i dostawczych o dopuszczalnej masie całkowitej do 3500 kg wymagają, żeby mocowanie wytrzymywało przyspieszenia 20 g działające wzdłuż osi podłużnej samochodu i 8 g prostopadle do niej. Spełnienie tych wymagań zapewnia wystarczającą wytrzymałość połączenia w warunkach zachodzących w eksploatacji samochodu oraz w przeważającej części kolizji drogowych.

Sposób montażu obejmujący technologię mocowania do konstrukcji samochodu oraz wytrzymałość elementów służących do zamocowania zbiornika w po-



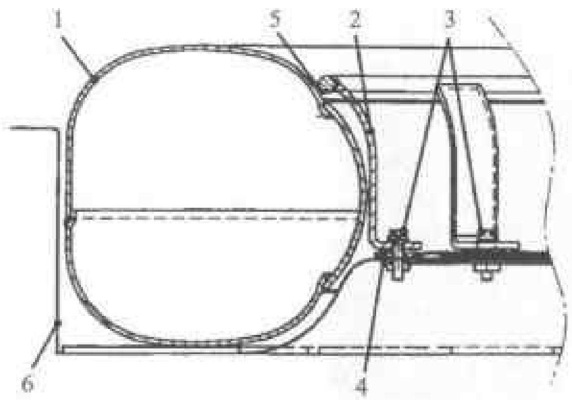


Fot. 5.11. Mocowanie toroidalnego zbiornika LPG we wnęce koła zapasowego na stanowisku do badań wytrzymałościowych (a) oraz obręcz mocująca (b)
1 – zbiornik LPG, 2 – obręcz mocująca, 3 – elementy stanowiska pomiarowego, wywierające założone obciążenia na zbiornik LPG

jeździe podlegają badaniom wytrzymałościowym, których pozytywne wyniki są podstawą do wydania certyfikatu potwierdzającego zgodność stosowanych rozwiązań z wymaganiami technicznymi.

Jeżeli zbiornik montowany jest w typowych miejscach (np. w miejscu koła zapasowego) oraz z zachowaniem wymagań technologii producenta mocowania, to można mieć pewność, że wytrzymałość połączenia zostanie zachowana. Montaż zbiornika do blaszanych elementów samochodu wymaga stosowania śrub o określonej przez producenta zbiornika wytrzymałości oraz dużych podkładek.

Ocena wytrzymałości dotyczy elementów mocowań przedstawionych do badań. Nie wyczerpuje to jednak wszystkich możliwości spotykanych w praktyce. Nietypowy montaż zbiornika LPG wymaga indywidualnego podejścia do montażu. Spotyka się samochody, których podłoga bagażnika wykonana jest z tworzywa sztucznego. W takim przypadku niezbędne jest zastosowanie ramy pomocniczej (fot. 5.12).

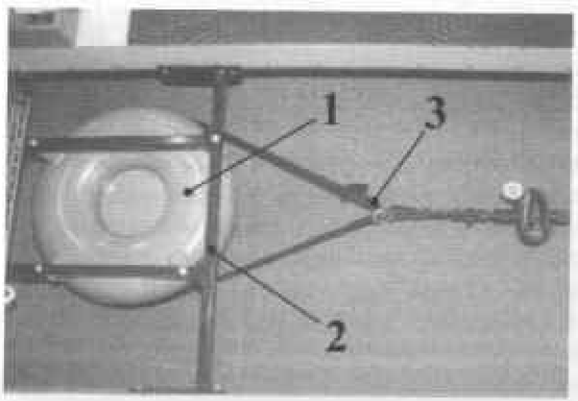


Rys. 5.2. Mocowanie toroidalnego zbiornika LPG we wnęce koła zapasowego: 1 – zbiornik LPG, 2 – obręcz mocująca, 3 – śruby, 4 – podkładka gumowa, 5 – silikon, 6 – podłoga bagażnika

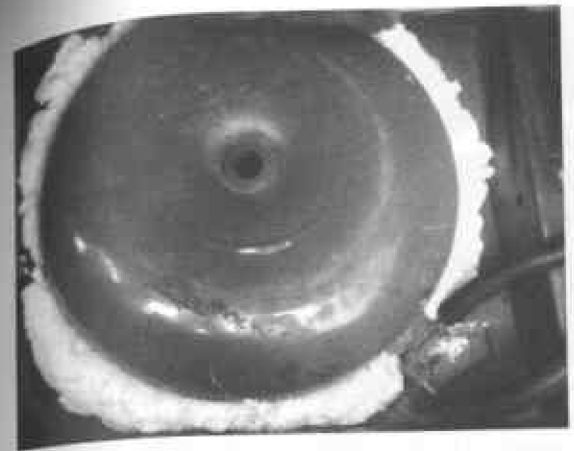
Prawidłowe przeprowadzenie montażu wymaga niejednokrotnie wykonania demontażu niektórych części samochodu, co zwiększa pracochłonność i koszt usługi. Dlatego też nierzetelne zakłady stosują różne metody „upraszczające".

Typowym przykładem jest montaż zbiornika LPG nad zbiornikiem benzyny, co wymaga często demontażu zbiornika benzyny. Spotykaną metodą jest przykręcanie mocowania zbiornika LPG za pomocą elementów działających na zasadzie kołków rozprężnych, a nawet blachowkrętów, co pozwala na montaż przy dostępie tylko z jednej strony blachy nadwozia. Jest to na pewno ułatwienie dla montażysty, lecz takie mocowanie nie spełnia wymagań wytrzymałościowych i jest niezgodne z obowiązującymi przepisami. Istnieje również niebezpieczeństwo przebicia wkrętem zbiornika benzyny.

Drugim rażącym przykładem nieprawidłowego montażu zbiornika LPG jest przyklejenie go do podłogi bagażnika we wnęce koła zapasowego wyłącznie za pomocą pianki poliuretanowej (fot. 5.13), bez użycia jakichkolwiek elementów łącznych. W przedstawionym przypadku oprócz stosowania niezgodnego z przepisami sposobu mocowania zbiornika LPG, brak jest osłony gazoszczelnej wielozaworu znajdującego się wewnątrz pojazdu. Jeżeli wystąpi wyciek paliwa LPG przez uszczelnienia armatury, paliwo wpłynie do przestrzeni pasażerskiej samochodu. „Zapiankowane" zostały również zawory odcinające. W przypadku uszkodzenia elementów układu zasilania LPG i wycieku paliwa, nie jest możliwe zamknięcie wypływu paliwa LPG ze zbiornika bez oswobodzenia pokręteł zaworów. Montaż przewodów miedzianych w karbowanych rurach elastycznych nie służy przewietrzaniu obudowy wielozaworu, ponieważ brak jest obudowy gazoszczelnej. Zastosowanie ich w przedstawionym przypadku ma zastosowanie wyłącznie dekoracyjne.



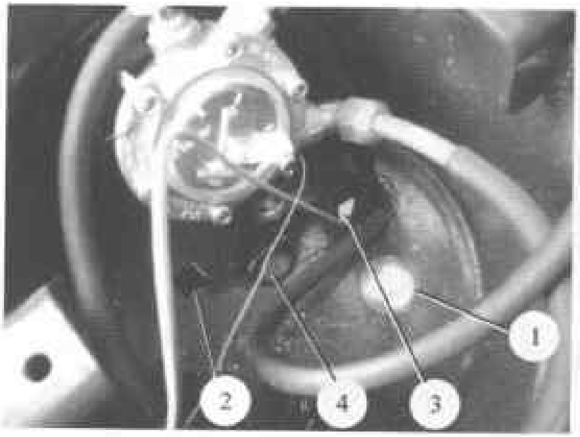
Fot. 5.12. Zbiornik toroidalny zamocowany do ramy pomocniczej na stanowisku do badań wytrzymałościowych: 1 – zbiornik LPG, 2 – rama pomocnicza, 3 – elementy stanowiska obciążające zbiornik LPG zadanym obciążeniem



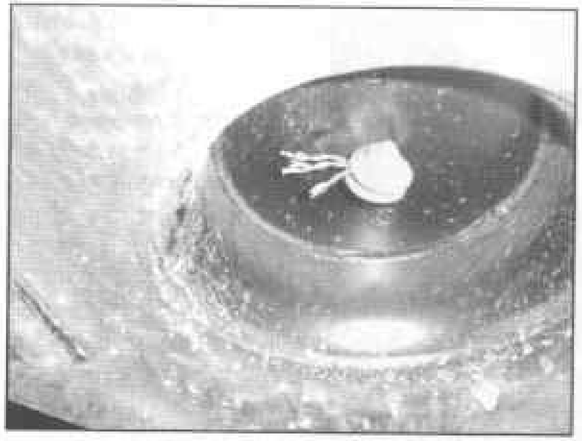


Fot. 5.13. Przykład nieprawidłowego montażu zbiornika LPG we wnęce koła zapasowego za pomocą pianki poliuretanowej

Do zamontowania zbiornika przedstawionego na fot. 5.14 (toroidalny, w miejscu koła zapasowego, z wielozaworem umieszczonym wewnątrz torusa, który pełni rolę obudowy gazoszczelnej), należy wykonać dwa otwory na śruby mocujące. Wyprowadzenie przewodów do tankowania oraz przewietrzania obudowy wielozaworu (w tym rozwiązaniu umieszczonego wewnątrz torusa zbiornika LPG) wymaga wykonania następnych dwóch otworów na tuleje (dostarczane w komplecie ze zbiornikiem) i uszczelnienia ich w blachach nadwozia. Monter uprościł sobie pracę o wykonanie dwóch otworów i „zaoszczędził" jedną śrubę z nakrętką oraz dwie



Fot. 5.14. Nieprawidłowo wykonany montaż zbiornika LPG
1 – śruba mocująca, 2 – tu również powinna znajdować się śruba mocująca zbiornik, 3 – przewody paliwowe wyprowadzone na zewnątrz nadwozia samochodu (bez tulei służącej do wentylacji obudowy gazoszczelnej), 4 – tu również powinna być zamontowana tulejka (brak tulei oraz otworu w nadwoziu)



Fot. 5.15. Przykład nieprawidłowego montażu zbiornika toroidalnego w miejscu koła zapasowego. Zbiornik LPG wisi na linee bez zastosowania innych elementów mocujących

tulejki. Taki sposób montażu, poza obniżeniem wytrzymałości połączenia zbiornika z pojazdem, jest powodem niespełnienia wymagań dotyczących przewietrzania obudowy armatury zbiornika LGP (w tym przypadku wielozaworu).

5.1.5. Badania zbiorników

Zbiornik paliwa gazowego montowany w samochodzie jest zbiornikiem ciśnieniowym, wykonywanym z blachy stalowej[2]. Zbiorniki podlegają ustawowo dozorowi technicznemu zarówno w fazie produkcji, jak i eksploatacji. Wymagania dotyczące wprowadzania nowych typów zbiorników (wymagane uzyskanie świadectwa homologacji) zawarte są w Regulaminie 67 EKG ONZ (patrz dodatek A). Regulamin ten określa zasady wykonywania obliczeń wytrzymałościowych oraz metodykę badań zbiorników. Badania zbiorników w produkcji obejmują: badania mechaniczne

[2] Istnieją zbiorniki LPG wykonywane z innych materiałów, jak np. kompozyty, lecz w Polsce nie są stosowane.

próbek wycinków powłoki zbiornika, badania radiograficzne oraz makroskopowe pełnego przekroju spoiny i zewnętrznej powierzchni spoiny. Każdy zbiornik przed wprowadzeniem do sprzedaży jest poddawany próbie ciśnieniowej, po przejściu której nie może wykazywać żadnych odkształceń.

Tabela 5.1

Wymagania dotyczące badań wytrzymałościowych zbiorników na ciśnienie, zawarte w Regulaminie 67 EKG ONZ

Wymaganie	R67 EKG ONZ wersja podstawowa		Seria 01 poprawek do R67 EKG ONZ
	klasa A	klasa B	
próba ciśnieniowa 100% zbiorników [kPa]	3000	4500	3000
ciśnienie otwarcia nadciśnieniowego zaworu bezpieczeństwa [kPa]	2300...2700	zawór nie wymagany	2600...2900
ciśnienie rozerwania nie mniejsze niż [kPa]	6750	10 125	6750

Uwaga. W przypadku wymiany zbiornika klasy B na zbiornik ze świadectwem homologacji według serii 01 poprawek Regulaminu 67 EKG ONZ (patrz dodatek A), wymagane jest wyposażenie armatury zbiornika w nadciśnieniowy zawór bezpieczeństwa.

W ramach kontroli produkcji określony procent zbiorników paliwa gazowego jest poddawany próbie rozrywania na specjalnie w tym celu skonstruowanym stanowisku. Wynik testu uznawany jest za pozytywny, jeżeli zbiornik został rozerwany przy ciśnieniu nie mniejszym niż wymagane, nie uległ rozerwaniu na części (nie powstał żaden odłamek zbiornika), a do momentu rozerwania nastąpiło zwiększenie objętości zbiornika o 17...20% jego pojemności wodnej. Miejsce pęknięcia nie powinno świadczyć o występowaniu w tym miejscu wady materiałowej (fot. 5.16).

Wszystkie zbiorniki klasy A mające świadectwo homologacji według Regulaminu 67 EKG ONZ w wersji podstawowej oraz wszystkie zbiorniki mające świa-

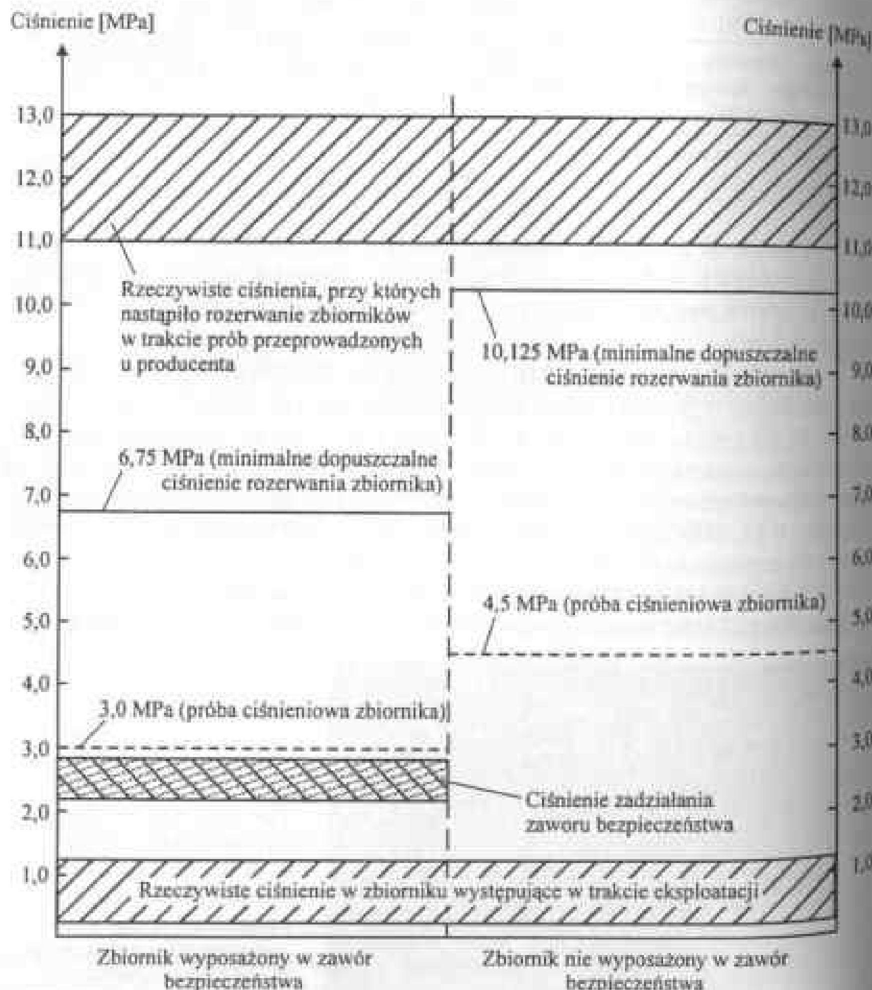


Fot. 5.16. Walcowy zbiornik LPG zniszczony w próbie rozrywania. Kształt zbiornika świadczy o zachodzących odkształceniach plastycznych (pożądanych), a sposób w jaki zbiornik pękł – o braku wad materiałowych oraz o dobrym wykonaniu połączeń spawanych

dectwo homologacji według Regulaminu 67 EKG ONZ, seria 01 poprawek są poddawane w procesie kontroli produkcji próbie pod ciśnieniem 3000 kPa oraz zabezpieczone przed nadmiernym wzrostem ciśnienia zaworem bezpieczeństwa. Zbiorniki klasy B są poddawane próbie pod ciśnieniem 4500 kPa.

Wyniki prób rozrywania zbiorników LPG produkowanych w firmie Stako dowodzą, że wytrzymałość zbiorników znacznie przekracza wymagania przepisów. Średnie ciśnienie rozerwania zbiornika zawiera się w granicach 11 000...13 000 kPa.

Ciśnienie wewnątrz zbiornika podczas eksploatacji jest zależne od składu paliwa LPG oraz temperatury otoczenia. W temperaturach otoczenia normalnie spotykanych w Polsce, ciśnienie to zawiera się w granicach 200...1200 kPa (rys. 5.3).



Rys. 5.3. Ciśnienie eksploatacyjne, zadziałania zaworu bezpieczeństwa i rozerwania zbiornika

5.2. Armatura zbiornika LPG

Przepisy obowiązujące w Polsce wymagają, aby zbiornik LPG był wyposażony w następujące elementy:

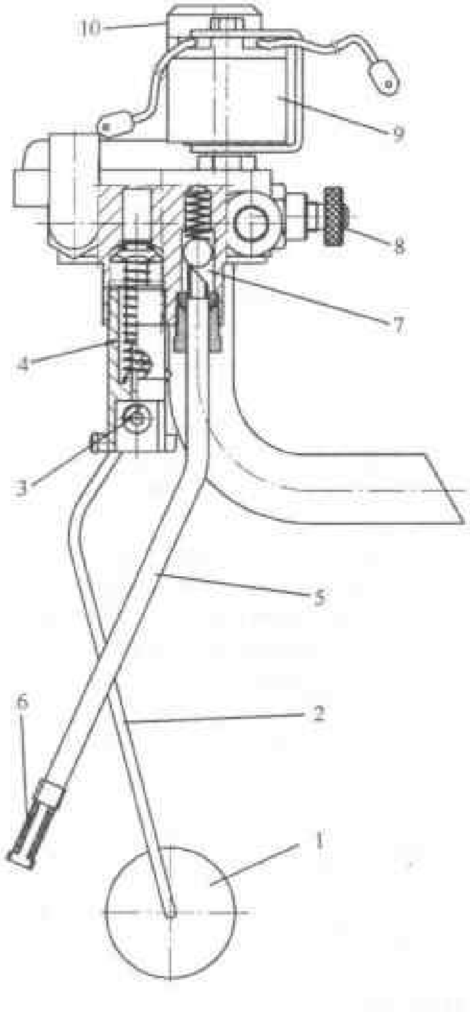
- mechanizm ograniczający stopień napełnienia zbiornika paliwa fazą ciekłą,
- zawór zwrotny,
- zawory odcinające,
- wskaźnik poziomu paliwa,
- zawór ograniczenia wypływu,
- nadciśnieniowy zawór bezpieczeństwa (dla zbiorników klasy A mających świadectwo homologacji na zgodność z wymaganiami Regulaminu 67 EKG ONZ w wersji pierwotnej oraz dla homologacji na zgodność z wymaganiami Regulaminu 67 EKG ONZ, seria 01 poprawek),
- zawór odcinający, elektromagnetyczny (dla homologacji na zgodność z wymaganiami Regulaminu 67 EKG ONZ, seria 01 poprawek).

W niektórych krajach (nie w Polsce) istnieje wymaganie wyposażania zbiornika LPG w bezpiecznik termiczny.

W instalacjach produkcji włoskiej mechanizmy te są wykonywane w formie jednego zespołu łączącego wszystkie niezbędne funkcje, zwanego wielozaworem, który jest montowany do kołnierza wykonanego na zbiorniku LPG. W zbiornikach w standardzie holenderskim każde z urządzeń ma własne gniazdo na płycie wspawanej w zbiornik paliwa gazowego, nazywanej płytą armaturową (fot. 5.17). Oba rozwiązania są równoważne pod względem funkcjonalnym. Większość używanych w Polsce armatur jest wykonywanych w standardzie włoskim. Dlatego poszczególne elementy opisano na przykładzie wielozaworu (rys. 5.4).



Fot. 5.17. Zbiornik LPG z płytą armaturową (zdjęcie górne) oraz z gniazdem pod wielozawór (zdjęcie dolne) [17]



Rys. 5.4. Wielozawór [8]
1 – pływak, 2 – ramię pływaka, 3 – oś ramienia pływaka, 4 – zawór ograniczający napełnienie, 5 – rurka poboru paliwa, 6 – filtr siatkowy, 7 – zawór ograniczający wypływ, 8 – ręczny zawór odcinający, 9 – elektromagnetyczny zawór odcinający, 10 – zawór bezpieczeństwa

5.2.1. Zawór ograniczający stopień napełnienia zbiornika

Pojemność zbiornika określa się pojemnością wodną, czyli rzeczywistą objętością zbiornika. Ze względu na bezpieczeństwo użytkowania zbiorniki paliwa gazowego są przystosowane do napełniania ich paliwem LPG w postaci ciekłej do 80% pojemności wodnej.

Faza ciekła paliwa LPG odznacza się stosunkowo dużą rozszerzalnością temperaturową i niewielką ściśliwością (patrz rozdział 2).

Zbiornik LPG podczas eksploatacji zmienia swą temperaturę, a wraz ze zmianą temperatury zmienia się (przy braku poboru paliwa ze zbiornika) objętość fazy ciekłej paliwa LPG w zbiorniku. Jeżeli zbiornik jest napełniony częściowo fazą ciekłą, to nad poziomem paliwa w fazie ciekłej znajduje się przestrzeń wypełniona przez fazę gazową LPG. Wraz ze wzrostem temperatury rośnie objętość fazy ciekłej LPG, co zmniejsza objętość zbiornika wypełnioną fazą gazową paliwa. Ciśnienie rośnie wraz z temperaturą, lecz pod warunkiem występowania objętości zbiornika wypełnionej fazą gazową, a jego wartość zależna jest jedynie od składu paliwa w zbiorniku i temperatury – nie zależy od stopnia napełnienia zbiornika paliwem. Jeżeli cała objętość zbiornika zostanie wypełniona fazą ciekłą LPG (w wyniku wzrostu objętości fazy ciekłej bądź przez napełnienie całej objętości zbiornika fazą ciekłą paliwa LPG), to wzrost temperatury paliwa powodujący zwiększenie objętości fazy ciekłej przy niewielkiej jej ściśliwości powoduje, że wyczerpane zostają możliwości kompensacji wzrostu objętości fazy ciekłej przez skraplanie LPG będącego w fazie gazowej, a dalszy wzrost objętości paliwa powoduje szybki (kilkaset kPa na 1°C) wzrost ciśnienia, zależny od wzrostu temperatury oraz podatności (zmiana objętości zbiornika w funkcji ciśnienia) zbiornika paliwa.

Wystąpienie opisanej sytuacji w zbiorniku wyposażonym w zawór bezpieczeństwa powoduje wzrost ciśnienia do wartości powodującej otwarcie zaworu i wypływ paliwa na zewnątrz zbiornika, co zabezpiecza przed wzrostem ciśnienia. W przypadku stosowania zbiornika nie wyposażonego w zawór bezpieczeństwa, wzrastające ciśnienie powoduje odkształcanie się ścianek zbiornika.

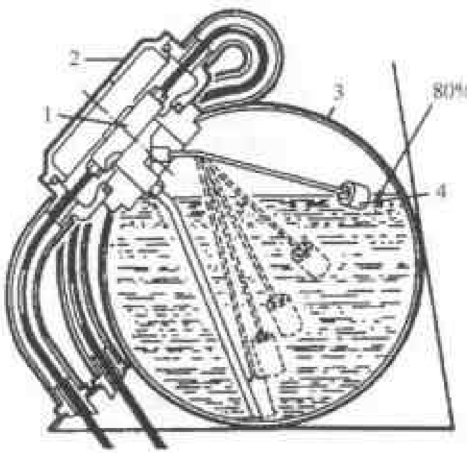
Opisane zjawisko powoduje konieczność stosowania urządzeń ograniczających stopień napełnienia zbiornika paliwem LPG w fazie ciekłej do takiego stopnia, aby mogący wystąpić wzrost temperatury paliwa nie spowodował wypełnienia całej objętości zbiornika LPG w fazie ciekłej, czyli aby zawsze w zbiorniku występowało paliwo w fazie gazowej.

Podczas typowej eksploatacji układu zasilania LPG, maksymalny wzrost temperatury paliwa LPG może nastąpić (pomijając umieszczenie samochodu z instalacją LPG w komorze lakierniczej) w dwóch przypadkach:
- tankowania LPG ze zbiornika podziemnego: temperatura paliwa wynosi ok. +10°C, zostawienie samochodu na słońcu powoduje ogrzanie zbiornika do ok. +60°C;
- tankowania LPG ze zbiornika naziemnego podczas silnego mrozu (–20°C): temperatura paliwa jest równa temperaturze otoczenia; postawienie samochodu w garażu, w którym panuje temperatura 25°C.

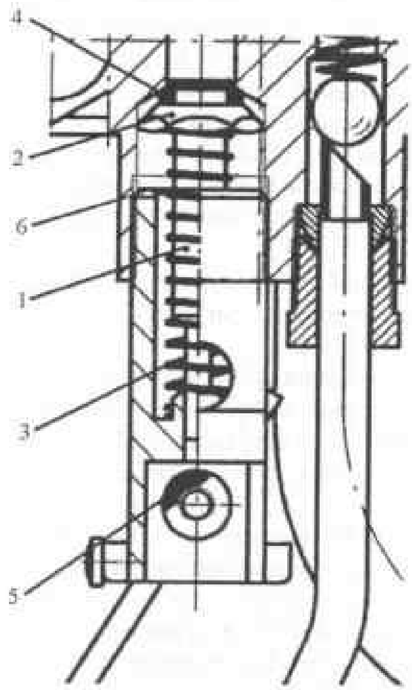
W obu przypadkach wzrost temperatury LPG nie przekracza 50°C. Jeżeli zbiornik był napełniony fazą ciekłą LPG zgodnie z wymaganiami przepisów do 80% jego objętości wodnej, to biorąc pod uwagę, że współczynnik rozszerzalności temperaturowej LPG jest równy (wartość średnia) 0,3% obj./°C, a przyrost temperatury wynosi 50°C, to faza ciekła zajmie ok. 92% objętości wodnej zbiornika.

Działanie zaworu ograniczającego stopień napełnienia zbiornika przedstawiono na przykładzie rozwiązań wielozaworu firmy Polgas.

Podczas tankowania ciśnienie wywołane przez pompę dystrybutora przesuwa tłoczek (1, rys. 5.6). Paliwo LPG jest przetłaczane przez kalibrowaną szczelinę wokół tłoczka, co powoduje powstanie różnicy ciśnień po obu stronach części spiętrzającej tłoczka (2) i przesunięcie go aż do oparcia się o krzywkę (5) zamocowaną na osi ramienia pływaka. Zmiana poziomu paliwa LPG w zbiorniku wywołuje obrót



Rys. 5.5. Schemat pracy ramienia z pływakiem, sterującego krzywką zaworu ograniczającego stopień napełnienia zbiornika paliwem, przy zmieniającym się poziomie paliwa
1 – wielozawór, 2 – gazoszczelna osłona wielozaworu, 3 – zbiornik LPG, 4 – pływak



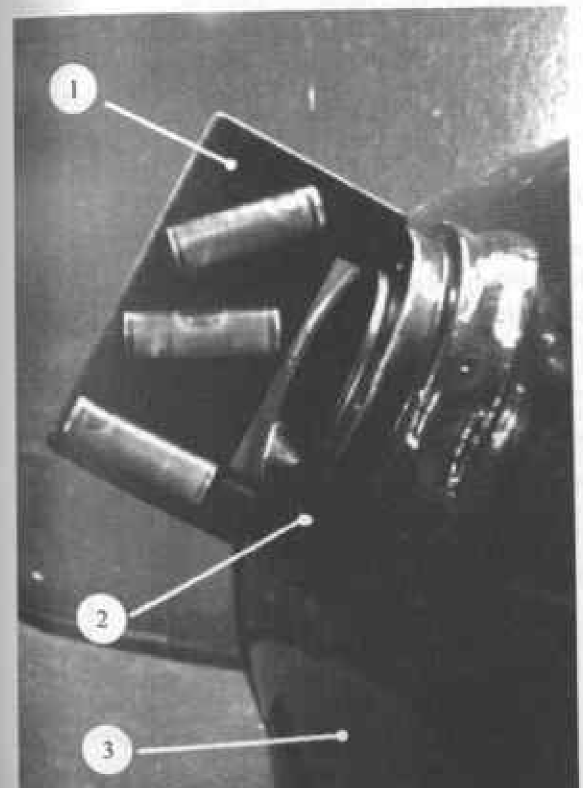
Rys. 5.6. Zawór ograniczający napełnienie zbiornika LPG do 80% jego objętości [8]
1 – tłoczek, 2 – część spiętrzająca tłoczka, 3 – sprężyna, 4 – gumowy pierścień uszczelniający, 5 – krzywka, 6 – przylgnia zaworu

ramienia pływaka wraz z jego osią, a przez to obrót wykonanej na osi krzywki. Jest ona wykonana w formie walca z wyciętym rowkiem w części współpracującej z tłoczkiem. Przy poziomie cieczy odpowiadającym mniej niż 80% objętości zbiornika LPG, przesunięcie tłoczka jest ograniczane przez walcową część krzywki. Napełnienie zbiornika do 80% jego objętości powoduje obrót krzywki do położenia,

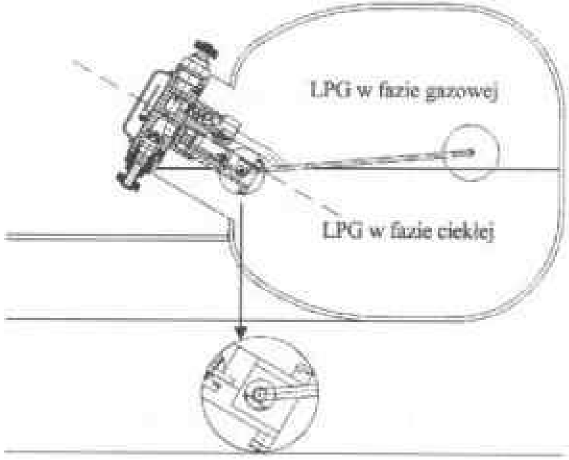
w którym przestaje blokować ruch tłoczka. Tłoczek zostaje przesunięty w dół aż do oparcia części spiętrzającej o przylgnię zaworu, co ogranicza przepływ paliwa LPG – następuje tzw. „odbicie" zaworu, co powinno stanowić sygnał do zakończenia tankowania. Na przylgni zaworu wykonany jest kalibrowany rowek zapewniający wymaganą przepisami nieszczelność zaworu i pozwalający na dalsze tankowanie (z dużo mniejszą wydajnością). Zakończenie tankowania powoduje zatrzymanie przepływu LPG przez zawór tankowania i po wyrównaniu się ciśnień z obu stron elementu dławiącego (możliwego dzięki nieszczelności zaworu) – powrót tłoczka do pozycji spoczynkowej na skutek działania sprężyny.

Dokładność działania mechanizmu ograniczającego stopień napełnienia zbiornika paliwa gazowego zależy od:
- dokładności wykonania samego mechanizmu,
- dokładności ustawienia zbiornika w pojeździe,
- płaskości terenu, na którym stoi samochód podczas tankowania LPG.

Ze względu na pracę zaworu ograniczania napełniania, zbiorniki należy montować w ściśle określonej przez producenta pozycji oraz przestrzegać właściwego doboru typu wielozaworu do zbiornika. Zbiorniki toroidalne montowane są



Fot. 5.18. Regulacja kąta kołnierza w stosunku do poziomu przez obrót zbiornikiem walcowym LPG, jest warunkiem dobrej pracy zaworu ograniczającego stopień napełnienia zbiornika [8]
1 – sprawdzian położenia (poziomnica), 2 – kołnierz mocowania wielozaworu, 3 – zbiornik LGP

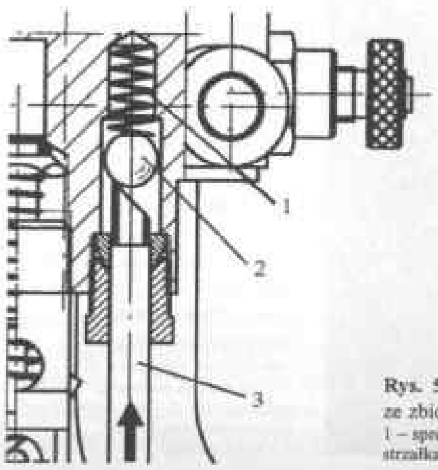


Rys. 5.7. Armatura zbiorników walcowych jest przeznaczona do pracy w jednym, określonym położeniu względem poziomu [8]

poziomo, zatem ich montaż w miejscu koła zapasowego montowanego pionowo jest niedopuszczalny. To samo dotyczy zbiorników walcowych. Armatura zbiornika jest przystosowana do pracy w określonej pozycji. Niezastosowanie się do tych zaleceń powoduje niewłaściwą pracę zaworu ograniczającego stopień napełnienia zbiornika i, w zależności od rodzaju popełnionych błędów montażowych, może spowodować powstanie niebezpieczeństwa całkowitego wypełnienia zbiornika fazą ciekłą paliwa LPG.

5.2.2. Zawór ograniczający wypływ ze zbiornika

W kanale korpusu wielozaworu, przez który przepływa LPG, umieszczona jest kulka (2, rys. 5.8). Przepływ paliwa LPG przez przekrój zawężony przez obecność kulki powoduje powstanie różnicy ciśnień w przestrzeniach po obu stronach kulki.



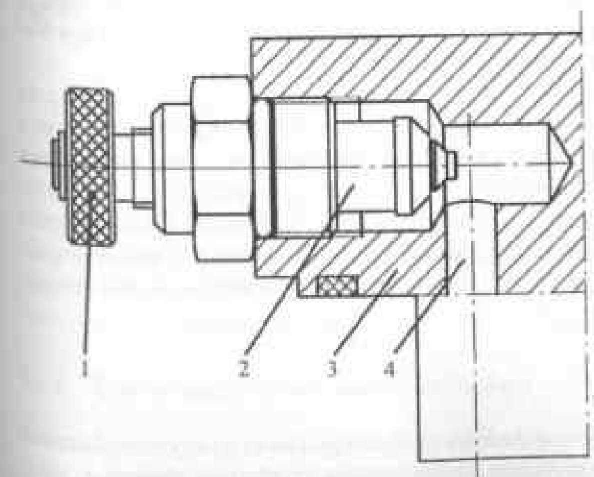
Rys. 5.8. Zawór ograniczający natężenie wypływu paliwa ze zbiornika [8]
1 – sprężyna, 2 – kulka, 3 – rurka poboru paliwa
strzałka wskazuje kierunek przepływu paliwa

Wzrost prędkości przepływu powoduje wzrost różnicy ciśnień i siły, która działa na kulkę. Średnica kulki jest dobrana do średnicy kanału oraz do charakterystyki sprężyny (1) w taki sposób, aby natężenie przepływu typowe dla normalnej pracy układu LPG nie spowodowało zadziałania zaworu. Dopiero duża prędkość wypływu LPG, występująca przy uszkodzeniu przewodu, powoduje wzrost siły działającej na kulkę w stopniu umożliwiającym pokonanie siły sprężyny i docisk kulki do przylgni gniazda. Na przylgni zaworu wykonany jest kalibrowany rowek, zapewniający wymaganą przepisami nieszczelność zaworu. Zatem działanie zaworu nie odcina wypływu paliwa, lecz ogranicza natężenie wypływu do wartości określonej w przepisach. Nieszczelność zaworu jest niezbędna dla umożliwienia samoczynnego otwarcia zaworu po ustaniu wycieku.

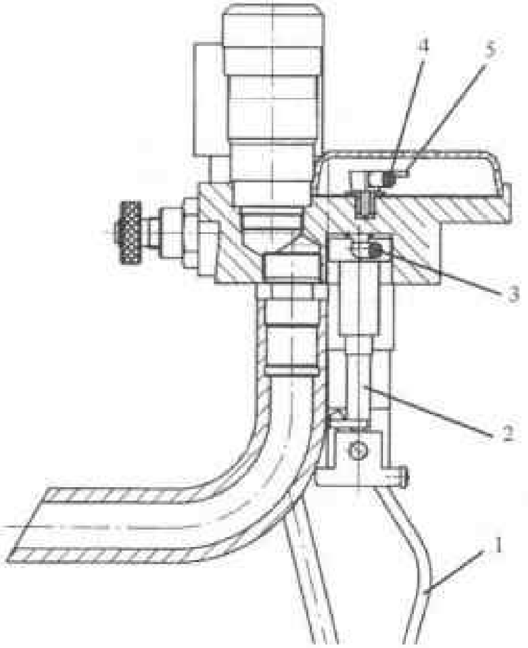
5.2.3. Zawory odcinające

Wielozawór jest wyposażony w dwa zawory odcinające o sterowaniu ręcznym, pozwalające na zamknięcie obu kanałów: tankowania i zasilania. Zamknięcie zaworów powoduje odcięcie zbiornika LPG od urządzeń zewnętrznych. Zawory odcinające wykorzystywane są podczas czynności serwisowych bądź w przypadku utraty szczelności układu zasilania LPG.

Zamknięcie zaworu odbywa się przez obracanie pokrętła (1, rys. 5.9), co powoduje dosunięcie trzpienia (2) do gniazda w korpusie wielozaworu. Następuje wtedy zamknięcie przelotu w kanale doprowadzającym LPG (4) do zbiornika lub do reduktora.



Rys. 5.9. Ręczny zawór odcinający [8]
1 – pokrętło, 2 – trzpień, 3 – korpus wielozaworu, 4 – kanał LPG



Rys. 5.10. Wskaźnik poziomu paliwa [8]
1 – ramię pływaka, 2 – oś wskaźnika, 3 – magnes stały w zbiorniku paliwa, 4 – magnes stały wskaźnika na zewnątrz zbiornika, 5 – wskazówka wskaźnika poziomu paliwa

5.2.4. Wskaźnik poziomu paliwa

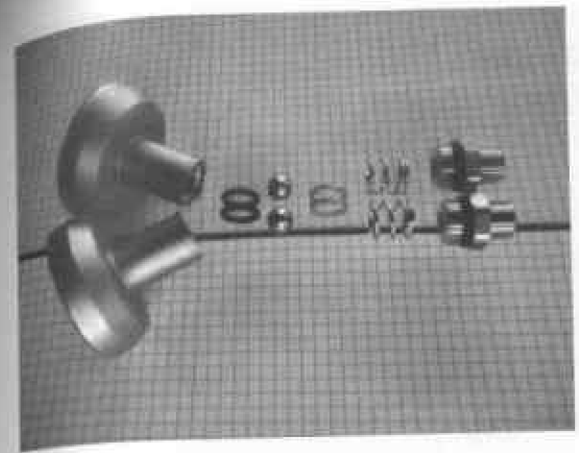
Wskaźnik poziomu paliwa wykorzystuje mechanizm pływaka z ramieniem, który porusza wewnątrz zbiornika paliwa magnes stały. Magnes ten porusza się wewnątrz zbiornika LPG pod skalą wskaźnika poziomu paliwa. Wskazówka wskaźnika zawiera drugi magnes, który oddziałując z magnesem wewnątrz zbiornika napędza wskazówkę. Brak jest mechanicznego połączenia mechanizmu pomiarowego wewnątrz zbiornika i wskaźnika ilości paliwa.

W pokrywie wskaźnika znajduje się czujnik, który określając natężenie pola magnetycznego umożliwia działanie elektronicznego wskaźnika poziomu paliwa w kabinie kierowcy. Regulacja wskazań układu elektronicznego odbywa się przez obrót pokrywy wskaźnika ilości paliwa z wmontowanym czujnikiem.

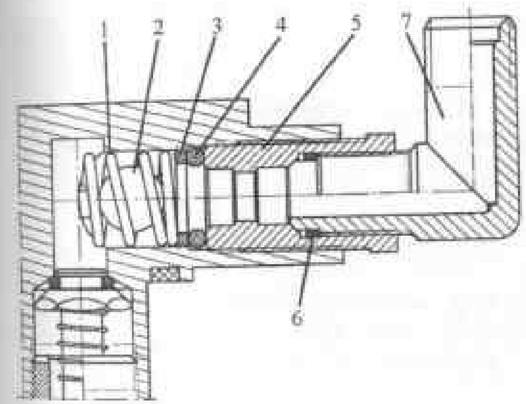
Przekazanie ruchu ramienia pływaka przez oddziaływanie dwóch magnesów stałych, powoduje znaczną niedokładność wskazań. Wskaźniki poziomu paliwa LPG nie są dokładne i nawet prawidłowo działające wskazują wartości orientacyjne.

5.2.5. Zawory zwrotne

Stosowane są dwa zawory zwrotne. Jeden z zaworów jest montowany w wielozaworze przed zaworem mechanizmu ograniczenia stopnia napełnienia zbiornika, natomiast drugi jest zaworem tankowania. Kulka stalowa (2, rys. 5.11) znajduje się



Fot. 5.19. Zawór tankowania. Widoczne elementy zaworu zwrotnego o konstrukcji i działaniu identycznym jak na rys. 5.11 [8]

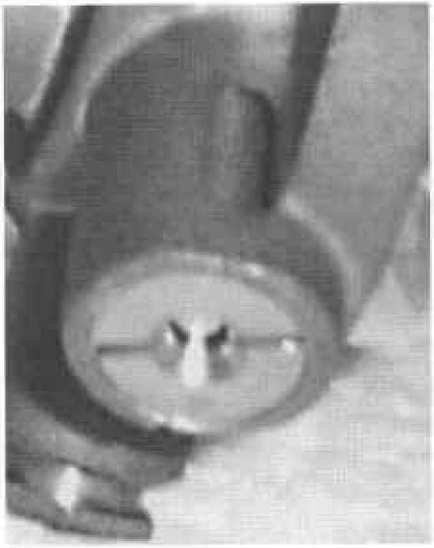


Rys. 5.11. Zawór zwrotny wielozaworu [8]
1 – sprężyna, 2 – kulka, 3 – podkładka, 4 – gumowy pierścień uszczelniający, 5 – tulejka redukcyjna, 6 – gumowy pierścień uszczelniający, 7 – złączka kątowa

w kanale, którym przetłaczane jest paliwo LPG. Kulka swobodnie przemieszcza się wewnątrz sprężyny (1), która pełni rolę prowadnicy kulki. Jeżeli paliwo jest tankowane do zbiornika, kulka odpychana jest od gniazda przez strumień paliwa. Zakończenie tankowania powoduje spadek ciśnienia po stronie dystrybutora i przepływ wsteczny paliwa LPG. Przepływ ten powoduje przesunięcie się kulki w kierunku gniazda i osadzenie jej w gumowej uszczelce (6), natomiast ciśnienie LPG w zbiorniku paliwa powoduje uszczelnienie zaworu przez wywarcie nacisku na kulkę.

5.2.6. Elektromagnetyczny zawór odcinający

Elektromagnetyczny zawór odcinający stosowany jest na wylocie LPG z wielozaworu, wspólnie z zaworem ograniczającym wypływ ze zbiornika. Umożliwia on zamknięcie wypływu LPG ze zbiornika. Konstrukcją i zasadą działania nie różni się



Fot. 5.20. Bezpiecznik termiczny [8]

od opisanego zaworu odcinającego LPG, stosowanego między zbiornikiem LPG a reduktorem. W przypadku braku zasilania cewki elektromagnesu, zawór pozostaje zamknięty.

5.2.7. Bezpiecznik termiczny i nadciśnieniowy zawór bezpieczeństwa

Nadciśnieniowy zawór bezpieczeństwa jest zaworem nadmiarowym, który otwiera się po przekroczeniu zadanego ciśnienia i zamyka, gdy ciśnienie spada. Zawór powoduje wypływ fazy gazowej LPG ze zbiornika do osłony gazoszczelnej i dalej przewodem na zewnątrz pojazdu.

Bezpiecznik termiczny jest wykonany w kształcie korka zamykającego wylot paliwa LPG ze zbiornika (fot 5.20). Materiał, z którego jest zrobiony tak dobrano, że bezpiecznik rozpada się po przekroczeniu zadanej temperatury (powyżej 100°C). Temperatury tego rzędu występują podczas pożaru samochodu, a działanie bezpiecznika ma zapewnić szybki wypływ paliwa ze zbiornika LPG (patrz podrozdział 6.13.4, opis procesu palenia się samochodu wyposażonego w układ zasilania LPG).

5.3. Zawór tankowania

Zawór tankowania jest zbudowany jako zawór zwrotny. Budowa i zasada działania jest taka sama jak zaworu zwrotnego wielozaworu.

W Europie istnieją trzy standardy zaworów tankowania. W Polsce najczęściej spotykany jest standard włoski (fot. 5.21), do obsługi którego dostosowane są dystrybutory stacji tankowania, i w dużo mniejszej liczbie standard holenderski (fot. 5.22). Stacje paliwowe na ogół posiadają wyposażenie przystosowane do współ-



Fot. 5.21. Zawór tankowania wykonany według standardu włoskiego



Fot. 5.22. Zawór tankowania LPG wykonany według standardu holenderskiego wraz z przejściówką
1 – wlew, 2 – przejściówka



Fot. 5.23. Zawór tankowania montowany w zderzaku tylnym



Fot. 5.24. Zawór tankowania montowany pod pokrywą wlewu benzyny

pracy ze wszystkimi występującymi rodzajami zaworów i stosują odpowiednie przejściówki, wkręcane w zawór zamontowany w pojeździe.

Typowe miejsca mocowania zaworu tankowania to: zderzak tylny (fot. 5.23), pod zderzakiem jak również pod pokrywą wlewu benzyny (fot. 5.24). Umieszczenie zaworu w zderzaku naraża go na zabrudzenia, ale za to dostęp do niego w trakcie tankowania nie jest niczym utrudniony. Zawór umieszczony pod pokrywą wlewu benzyny jest chroniony przed brudem, ale przeszkadza w dostępie do wlewu benzyny. W tym miejscu lepiej sprawdzają się wlewy wykonane w standardzie holenderskim, z uwagi na średnicę mniejszą o połowę.

ROZDZIAŁ 6

Eksploatacja samochodu zasilanego paliwem LPG

6.1. Tankowanie paliwa LPG

6.1.1. Zasady bezpiecznego tankowania

- Tankowanie LPG powinno odbywać się na płaskiej, poziomej powierzchni. Tylko w ten sposób przeprowadzone tankowanie zapewnia zgodną z założeniami pracę zaworu ograniczenia napełnienia!
- Przerwanie tankowania powinno nastąpić bezpośrednio po zadziałaniu zaworu ograniczającego napełnienie zbiornika.

  Przepisy obowiązujące w Polsce wymagają, aby wszystkie operacje związane z tankowaniem wykonywał pracownik stacji paliwowej. Prawidłowo przeprowadzane tankowanie przebiega w następujący sposób: do zaworu tankowania podłączana jest końcówka dystrybutora, uruchamiana jest pompa i pracownik obsługujący dystrybutor czeka na zadziałanie zaworu ograniczenia napełnienia. Po jego zadziałaniu powinien jak najszybciej wyłączyć pompę. Niestety nie wszyscy pracownicy stacji stosują powyższą procedurę. Po „odbiciu zaworu" nadal istnieje możliwość tankowania pojazdu, tyle że z mniejszą wydajnością. Tę właściwość wykorzystują niektórzy obsługujący dystrybutory dla wygody w wydawaniu reszty i tankują LPG jeszcze po zadziałaniu zaworu. Nie należy godzić się z taką praktyką – zwiększenie ilości paliwa LPG w zbiorniku to zmniejszenie marginesu bezpieczeństwa pracy zbiornika.
- Po odłączeniu końcówki dystrybutora od zaworu tankowania pewna ilość LPG zostaje uwolniona do atmosfery i wypływa pod własnym ciśnieniem. Ponadto nieumiejętne założenie końcówki dystrybutora może spowodować wypływ strumienia paliwa o znacznym zasięgu. LPGw postaci ciekłej, wydostając się do atmosfery gwałtownie się rozpręża i paruje w całej objętości, co powoduje schło-

dzenie do temperatur ujemnych. Strumień LPG może spowodować odmrożenia, w przypadku zetknięcia się z ciałem człowieka. Z tego powodu obsługujący dystrybutory LGP powinni używać rękawic oraz okularów ochronnych, a właściciele pojazdów zachowywać bezpieczny dystans od wlewu LPG do zakończenia tankowania.

- Należy dbać o czystość wlewu LPG. Wlewy LPG montowane są przeważnie w tylnym zderzaku, w miejscu silnie narażonym na zabrudzenie. Powinny być zabezpieczone zaślepką z tworzywa sztucznego. Jednak pomimo tego zabezpieczenia elementy wlewu ulegają zabrudzeniu. Dlatego też należy okresowo kontrolować czystość zaworu, ponieważ podczas tankowania cały brud zebrany wewnątrz niego zostanie wtłoczony do zbiornika.
- Przy jakim poziomie LPG w zbiorniku należy udać się na stację paliwową?

Silnik będzie pracował poprawnie, gdy ze zbiornika będzie czerpana faza ciekła LPG. Istnieją sterowniki, które monitorują pracę układu zasilania LPG. Zakłócenia w dostarczaniu paliwa do silnika objawiające się zubożeniem mieszanki są wychwytywane przez sterownik układu LPG, który zabezpiecza silnik pojazdu, powodując przełączenie zasilania z LPG na benzynę. Dotyczy to jednak wyłącznie zaawansowanych technicznie układów zasilania LPG zamontowanych do samochodów wyposażonych w sondę lambda. We wszystkich innych układach zasilania LPG istnieje możliwość jazdy przy zasilaniu LPG aż do zatrzymania silnika. Pierwsze symptomy braku paliwa pojawiają się podczas przyspieszania samochodu oraz na zakrętach, gdy chwilowy brak paliwa objawia się spadkiem mocy silnika. Jeżeli sygnały są ignorowane przez kierującego, to po jakimś czasie następuje nagły spadek mocy silnika, najczęściej podczas przyspieszania. Jeżeli zabraknie paliwa podczas ruszania ze skrzyżowania nie stanowi to dużego zagrożenia, lecz jeżeli paliwa zabraknie przy wyprzedzaniu, grozi to poważnym wypadkiem drogowym.

Innym problemem jest zubożenie mieszanki paliwowo-powietrznej, co może skutkować „strzałem" lub innymi związanymi z tym zjawiskami.

Nie można takiego zachowania układu zasilania LPG traktować jako wady – identycznie objawia się brak benzyny w zbiorniku. Wadą jest natomiast mała dokładność wskaźnika ilości paliwa LPG w zbiorniku. Praktycznym sposobem na kontrolę zużycia jest rejestrowanie wskazań licznika przebiegu samochodu od ostatniego tankowania i tankowanie po przejechaniu odległości określonej na podstawie obserwacji zużycia paliwa.

Zaleca się niedopuszczanie do zasysania fazy gazowej LPG przez przewód paliwowy i tankowanie zbiornika paliwa gazowego przy bezpiecznym poziomie paliwa LPG, wynoszącym ok. 10% jego objętości.

6.1.2. Co robić, gdy nie zadziała zawór ograniczający napełnienie?

Jeżeli zawór nie odbije i tankowanie będzie kontynuowane aż do pełnego napełnienia zbiornika, to nie będzie w nim poduszki powietrznej, a ciśnienie w zbiorniku będzie równe ciśnieniu pompy LPG przetaczającej paliwo przez dystrybutor. W takiej sytuacji późniejszy wzrost temperatury LPG spowoduje znaczny wzrost ciśnienia w zbiorniku paliwa.

Jeżeli zbiornik paliwa jest wyposażony w zawór bezpieczeństwa, to należy się liczyć z możliwością jego zadziałania. Jeżeli zbiornik LPG jest zamontowany na zewnątrz pojazdu, to po zadziałaniu zaworu paliwo LPG wypłynie poza pojazd. Natomiast jeżeli zbiornik zamontowany jest wewnątrz przedziału pasażerskiego należy upewnić się, czy osłona zaworu bezpieczeństwa jest założona poprawnie, powstrzymać się od używania otwartych źródeł ognia, w tym palenia papierosów, i usiłować jak najszybciej zmniejszyć ilość paliwa w zbiorniku paliwa gazowego.

Objawem świadczącym o niezadziałaniu zaworu ograniczającego napełnienie jest spadek prędkości przepływu gazu przez dystrybutor, wraz ze zwiększaniem się ciśnienia na pompie dystrybutora.

6.2. Uruchamianie silnika przy zasilaniu LPG

Uruchamianie silnika samochodu wyposażonego w układ zasilania LPG możliwe jest przy zasilaniu zarówno benzyną jak i LPG.

Wyposażenie dodatkowe ułatwiające rozruch przy zasilaniu LPG obejmuje siłownik, który działając na dźwignię regulacji ciśnienia II stopnia reduktora umożliwia wypływ paliwa LPG z reduktora do kolektora dolotowego, pomimo że silnik nie pracuje (rys. 3.10). Sterowanie pracą siłownika odbywa się ręcznie z wnętrza nadwozia za pomocą przycisku. Czas działania siłownika, a zatem ilość paliwa LPG, która wpływa do układu dolotowego, jest sterowany przez kierowcę; niekiedy jest ograniczany również przez układ elektroniczny.

Obecność LPG w układzie dolotowym ułatwia rozruch zimnego silnika. Czas działania siłownika, jak również położenie przepustnicy optymalne dla przeprowadzenia łatwego rozruchu, jest indywidualną właściwością każdego samochodu. Rozruch silnika przy zasilaniu LPG jest możliwy również, jeżeli samochód nie jest wyposażony w siłownik. Samochody mające sprawnie działające układy zapłonowe uruchamiane są przy zasilaniu LPG nawet w temperaturach ujemnych. Możliwość rozruchu zimnego silnika przy zasilaniu LPG maleje jednak wraz ze spadkiem temperatury otoczenia. Rozruch ciepłego silnika przy zasilaniu LPG nie stanowi żadnego problemu.

6.3. Przełączanie zasilania (paliw)

Wybór paliwa, którym jest zasilany silnik samochodu zależy od kierującego. Przełączanie zasilania realizowane jest za pomocą montowanego w zasięgu jego ręki przełącznika, który steruje pracą zaworów i urządzeń pozwalających na odcięcie dopływu paliwa do silnika.

6.3.1. Silniki gaźnikowe wyposażone w przeponową pompę benzyny

Przełączanie z benzyny na LPG

W trakcie pracy silnika gaźnikowego zasilanego benzyną, gaźnik jest wypełniony tym paliwem. Przełączenie polega na odcięciu zasilania benzyną i otwarciu dopływu LPG do silnika. Należy pamiętać, że silnik po odcięciu dopływu benzyny będzie pracował dopóty, dopóki benzyna, która jest w komorze pływakowej, nie zostanie zużyta. Ilość tego paliwa wystarcza na przejechanie kilkuset metrów. Dlatego też, jeżeli po odcięciu dopływu benzyny otwarty zostanie od razu elektrozawór gazowy, nastąpi nadmierne wzbogacenie mieszanki, prowadzące do zakłóceń w pracy silnika (przez pewien czas silnik będzie zasilany jednocześnie benzyną i LPG).

Sposób postępowania, który pozwoli uniknąć wyżej opisanych problemów, jest następujący: należy zablokować dopływ obu paliw podczas jazdy ze stałą prędkością i włączyć zasilanie LPG w chwili, gdy silnik zacznie tracić moc. Przełączenie paliwa gdy silnik pracuje na biegu jałowym wymaga wyczucia chwili, w której gaźnik jest opróżniony z paliwa w stopniu umożliwiającym pracę silnika na LPG.

Przełączanie z LPG na benzynę

Gaźnik silnika zasilanego LPG jest opróżniony z benzyny. Jego ponowne napełnienie wymaga więc czasu.

Jeżeli przełącznik jest wyposażony w funkcję umożliwiającą otwarcie obu zaworów[1] (LPG oraz benzynowego), to dla przełączenia zasilania z LPG na benzynę należy otworzyć zawór benzynowy, przy jednoczesnym otwarciu zaworu LPG. W chwili wystąpienia zakłóceń w pracy silnika zasilanego obu paliwami na raz, należy zamknąć zawór LPG.

W przypadku konieczności napełnienia gaźnika benzyną na postoju, w celu umożliwienia następnego rozruchu na benzynie, można włączyć zasilanie obu paliwami w czasie pracy silnika na biegu jałowym do czasu unieruchomienia silnika przez nadmierne wzbogacenie mieszanki.

Jeżeli przełącznik rodzaju paliwa nie ma opisanej powyżej funkcji, to przełączenie najwygodniej jest wykonać podczas jazdy. Najkorzystniej jest zamknąć zawór odcinający LPG i otworzyć zawór benzynowy podczas hamowania silnikiem na wysokim biegu przy prędkości ok. 60 km/h.

Na postoju natomiast należy zwiększyć prędkość obrotową silnika do ok. 3000 obr/min i przełączyć zasilanie na benzynę. Silnik pozbawiony zasilania będzie zmniejszał prędkość obrotową, a zadaniem kierującego jest niedopuszczenie do tego przez chwilowe przełączanie silnika na zasilanie LPG.

Jeżeli silnik ma być uruchamiany przy zasilaniu benzyną, to proponuje się przełączenie paliw przed jego wyłączeniem. Jeżeli pompa paliwa nie ma dźwigni umożliwiającej napełnienie gaźnika benzyną, to rozruch silnika przy pustym gaźniku jest utrudniony, ponieważ rozrusznik obracając wałem korbowym silnika musi przed uruchomieniem silnika napełnić gaźnik paliwem.

[1] Dziś rzadkość.

Przełączanie zasilania w samochodach z silnikami gaźnikowymi wyposażonych w przeponową pompę paliwa wymaga wprawy, w przeciwnym wypadku silnik będzie szarpał lub zgaśnie. Jeżeli silnik zgaśnie podczas przełączania paliw, bezpieczniej jest uruchamiać go przy zasilaniu benzyną. Jeżeli gaźnik jest wypełniony benzyną, to powtórne jego uruchamianie przy zasilaniu LPG spowoduje wzbogacenie mieszanki i „zalanie silnika", uniemożliwiające lub utrudniające rozruch silnika.

Według doświadczeń autorów, większość samochodów z silnikami gaźnikowymi wyposażonych w układ zasilania LPG, jest uruchamiana tylko przy zasilaniu LPG.

6.3.2. Samochody wyposażone w elektryczną pompę benzyny

Jeżeli samochód jest wyposażony w elektryczną pompę benzyny, to opóźnienie między włączeniem zasilania benzyną a podaniem jej do urządzeń dozujących jest znacznie krótsze, co pozwala na szybsze przełączanie z LPG na benzynę. Ponadto nie występują problemy z napełnieniem benzynowego układu zasilania paliwem w celu rozruchu na benzynie.

Najłatwiej przełączanie paliw realizowane jest w silnikach wyposażonych w elektronicznie sterowany wtrysk benzyny. Przerwanie pracy wtryskiwacza powoduje natychmiastowe zatrzymanie wypływu paliwa. Paliwo LPG jest podawane do silnika samochodu niemal natychmiast po otwarciu zaworów odcinających LPG, a zatrzymanie jego wypływu trwa niewiele dłużej.

6.4. Zużycie paliwa

Zużycie paliwa przez samochód jest wypadkową wielu czynników:
- konstrukcji samochodu,
- warunków ruchu, czyli cyklu jazdy,
- stylu jazdy,
- jakości paliwa,
- warunków atmosferycznych, takich jak temperatura, opady deszczu, śniegu, wiatr,
- stanu technicznego pojazdu, czyli geometrii zawieszenia, stanu układu hamulcowego, regulacji silnika.

Zużycie paliwa zmienia się ponadto przez całe „życie" samochodu, wraz ze zużywaniem się jego zespołów.

Pomiary eksploatacyjnego zużycia paliwa są jednymi z trudniejszych do prawidłowego wykonania. Liczba czynników wpływających na zużycie paliwa w eksploatacji jest znaczna, a ich występowanie przypadkowe. Zatem, dla zminimalizowania ich przypadkowości, ocena zużycia paliwa w warunkach eksploatacyjnych powinna być prowadzona w długim okresie.

6.4.1. Zużycie benzyny

Zamontowanie układu zasilania LPG nie powinno wpłynąć na zmianę zużycia paliwa przez silnik zasilany benzyną.

W przypadku silników gaźnikowych, różnice mogą pojawić się przy wprowadzeniu zmiany podciśnienia w zwężce rozpylacza gaźnika, co może spowodować zarówno zwiększenie, jak i zmniejszenie zużycia paliwa. Różnice takie nie są przeważnie dla właściciela pojazdu zauważalne.

W samochodach wyposażonych w układ wtryskowy, dobrze zamontowany układ zasilania LPG, a szczególnie jego część elektroniczna, służy między innymi ochronie modułu układu wtryskowego benzyny przed wprowadzeniem zakłóceń podczas pracy silnika zasilanego LPG. Zakłóceniami takimi, powodującymi przeważnie wzrost zużycia paliwa, mogą być:

- Wykasowanie pamięci sterownika silnika przez odłączenie zasilania modułu. Część sterowników silników samochodowych nie reaguje negatywnie na wykasowanie pamięci. Jednak pozostałe wymagają wykonania przez serwis czynności przewidzianych w procedurze programowania modułu układu wtryskowego benzyny, podczas pierwszego uruchamiania silnika po odłączeniu zasilania od tego modułu. Wykasowanie pamięci powoduje również utratę wszelkich korekcji wprowadzonych do pamięci sterownika w trakcie eksploatacji pojazdu (tzw. uczenie się), które są niezbędne do prawidłowego funkcjonowania układu wtryskowego;
- Wprowadzenie korekcji mapy wtrysku w wyniku źle dobranej emulacji sondy lambda, w czasie pracy silnika przy zasilaniu LPG;
- Wprowadzenie zakłóceń powodujących przejście sterownika silnika (czasem również automatycznej skrzynki biegów) na tryb awaryjny.

Większość producentów instalacji LPG zaleca uruchamianie silnika „na benzynie". W niektórych instalacjach kierowca sam decyduje o momencie przełączenia zasilania na LPG, w pozostałych jest to realizowane w sposób automatyczny i zależy od różnych czynników – z reguły od temperatury cieczy chłodzącej. Dlatego też nawet jeżeli samochód jest zasilany LPG, występuje w trakcie eksploatacji niewielkie zużycie benzyny. Jego wielkość jest zależna od konstrukcji układu zasilania i ustawień parametrów decydujących o przełączeniu zasilania.

Jeżeli silnik o pojemności 1,6 dm³ z elektronicznym wtryskiem benzyny jest uruchamiany „na benzynie" i przełączany na zasilanie LPG na postoju w czasie jednej minuty od uruchomienia, to na jedno uruchomienie potrzebuje orientacyjnie 0,03 dm³ benzyny.

Silniki wyposażone w gaźnikowe układy zasilania przełącza się na zasilanie LPG najczęściej podczas jazdy. Prawidłowe przełączanie (w celu uniknięcia nadmiernego wzbogacenia mieszanki) powinno przebiegać następująco:

- ustawić przełącznik wyboru paliwa w położenie, w którym zamknięte są oba elektrozawory (zarówno benzynowy jak i gazowy) – w tym momencie silnik zasilany jest benzyną, która znajduje się w komorze pływakowej gaźnika oraz w części przewodów paliwowych za elektrozaworem benzynowym;

- w chwili, gdy silnik zaczyna się „dławić" z powodu braku benzyny, przełączyć na zasilanie LPG.

W tym przypadku, jeżeli przełączenie nastąpi po przejechaniu 1 kilometra od uruchomienia silnika, to w zależności od temperatury oraz sposobu działania układu wzbogacającego, zużycie benzyny przez silnik o pojemności skokowej 1,6 dm³ wyniesie od 0,2 do 0,3 dm³.

Jak stąd wynika, przeciętnej wielkości zbiornik paliwa o pojemności 40 dm³ wystarczy na wykonanie około 1300 rozruchów silnika z elektronicznym układem wtryskowym i około 200 rozruchów silnika gaźnikowego.

Silniki gaźnikowe można uruchamiać w większości przypadków przy zasilaniu LPG (jest to możliwe nawet przy ujemnych temperaturach otoczenia); oczywiście rozruchy silnika nie powodują wówczas zużycia benzyny.

W przypadku zastosowania w samochodzie układu zasilania LPG uzależniającego możliwość przełączania paliw od temperatury reduktora, zużycie benzyny będzie zależne od ustawionej temperatury granicznej, a co za tym idzie od czasu nagrzewania reduktora. Jednak osiągnięcie przez reduktor tej temperatury wcale nie oznacza automatycznego przełączenia na zasilanie LPG, ponieważ większość układów wymaga jeszcze przekroczenia zadanej wartości prędkości obrotowej silnika i to w dodatku albo w trakcie zmniejszania się prędkości obrotowej (przeważnie), albo zwiększania. Dlatego też może się zdarzyć, że przy ustawieniu tej wartości na przykład na 3000 obr/min (co jest wartością spotykaną) i przy jeździe z niskimi prędkościami obrotowymi silnika, nie wystąpią warunki konieczne do przełączenia zasilania i jeśli kierowca nie zwróci uwagi na to, które kontrolki przełącznika się świecą, będzie cały czas jeździł „na benzynie".

Niektóre układy zasilania LPG wyposażone są w sterowniki mające funkcję okresowego wzbogacania mieszanki, poprzez wtrysk dodatkowej dawki benzyny. Funkcja ta jest uruchamiana po szybkim naciśnięciu pedału przyspieszenia, np. w trakcie wykonywania manewru wyprzedzania. Wówczas do układu dolotowego dostarczane są dwa paliwa: LPG i benzyna. Dzięki tej funkcji silnik szybciej reaguje na naciśnięcie pedału „gazu". Zmniejsza się również efekt zubażania składu mieszanki przy przyspieszaniu, często występujący przy zasilaniu silnika LPG. Dodatkowo chroni ona przed wystąpieniem zjawiska „strzału".

Spotykane są również układy zasilania LPG, które po przekroczeniu zadanej prędkości obrotowej silnika automatycznie przełączają na zasilanie benzyną.

Preferowanie przez kierowcę stylu jazdy charakteryzującego się częstym i gwałtownym przyspieszaniem prowadzi do zwiększenia zużycia LPG i zużywania benzyny (jeżeli układ zasilania LPG ma jedną lub obie wyżej opisane funkcje), mimo przełączenia zasilania silnika na LPG.

Zużycie benzyny zależne jest od udziału pracy silnika „na gazie" i „na benzynie". Zmienia się od wartości bliskich zera[2)] w przypadku uruchamiania silnika na LPG, przez ok. 0,2 dm³/100 km dla przeciętnego samochodu z wtryskiem sterowa-

2) Benzyny ubywa ze zbiornika paliwa na skutek jej parowania.

nym elektronicznie do 1...2 dm³/100 km dla samochodu z silnikiem gaźnikowym, eksploatowanego w mieście na krótkich trasach, którego silnik jest zawsze uruchamiany na benzynie.

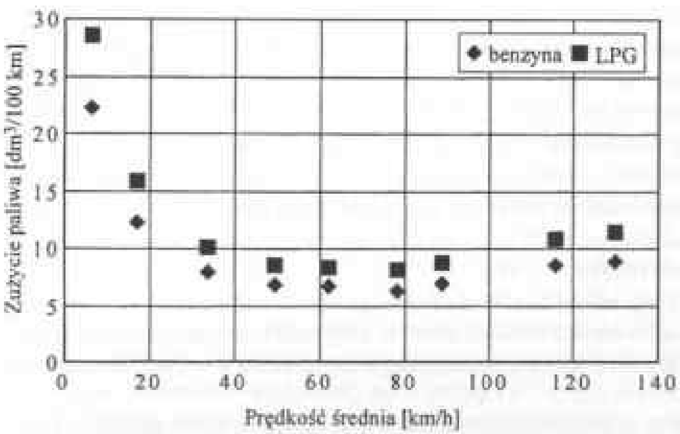
6.4.2. Zużycie LPG w stosunku do zużycia benzyny

Porównanie zużycia LPG i benzyny jest podstawą oceny opłacalności montowania układu zasilania LPG w pojeździe.

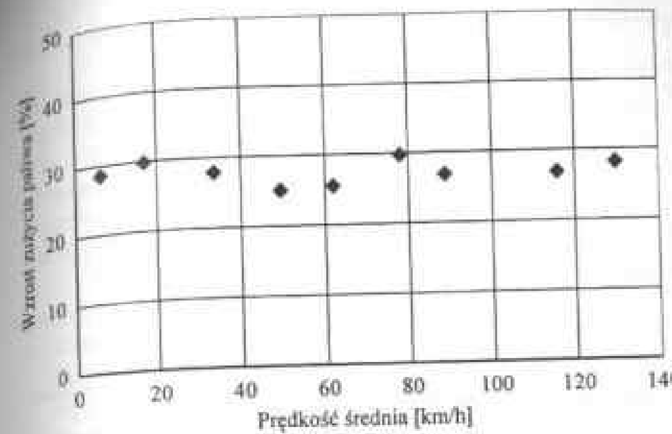
Paliwo LPG charakteryzuje się większą o ok. 7 % wartością opałową odniesioną do jednostki masy. Masa właściwa paliwa LPG (w stanie skroplonym) jest mniejsza niż benzyny o ponad 30%, stąd wartość opałowa LPG odniesiona do jednostki objętości jest o ok. 20% mniejsza niż benzyny.

Ponieważ detaliczna cena paliwa odnosi się do 1 dm³, to ilość zakupionej energii w jednostce objętości paliwa jest mniejsza w przypadku LPG o ok. 20%. Oznacza to, zakładając że sprawność zamiany energii cieplnej na pracę w silniku przy zasilaniu obu paliwami jest jednakowa, że zużycie LPG wyrażone w dm³/100 km (skroplonego gazu) jest o ok. 20% większe, niż zużycie benzyny.

W popularnych opracowaniach na temat zasilania silników pojazdów samochodowych gazem ciekłym, spotyka się opinie o daleko lepszych parametrach eksploatacyjnych osiąganych przy zasilaniu LPG, niż wynika to z podanych powyżej rozważań. Jest to możliwe. Jednak uzyskanie niskiego zużycia paliwa wiąże się z koniecznością dokonania zmian w fabrycznej regulacji silnika. W silnikach spalinowych o zapłonie iskrowym stosunkowo łatwe do regulacji są: skład mieszanki palnej oraz kąt wyprzedzenia zapłonu. Zmiana każdego z parametrów regulacyjnych, w przypadku znacznego przekroczenia wartości optymalnych, prowadzi do szybszego zużycia silnika oraz gwałtownego zwiększenia emisji szkodliwych składników spalin.



Rys. 6.1. Porównanie zużycia LPG i benzyny w cyklach jazdy o różnych prędkościach średnich



Rys. 6.2. Procentowy wzrost objętościowego zużycia LPG w stosunku do benzyny w różnych cyklach jazdy

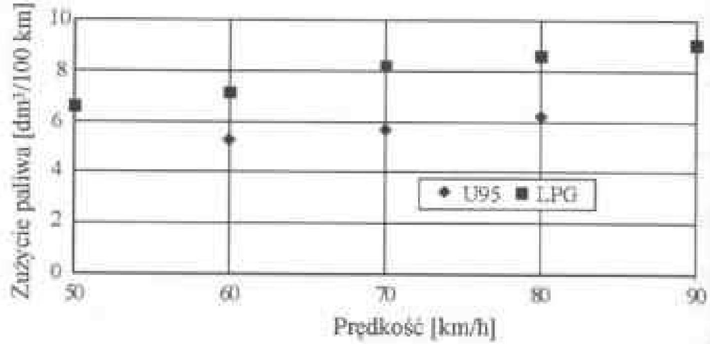
Należy jednak pamiętać, że dla silnika przystosowanego do zasilania LPG podstawowym paliwem nadal jest benzyna. To dla zasilania benzyną została dobrana optymalna komora spalania, układ dolotowy i zapłonowy.

Prowadzone w Instytucie Transportu Samochodowego pomiary zużycia paliw potwierdzają dane teoretyczne. Na rys. 6.1 zamieszczono wyniki pomiarów zużycia benzyny oraz LPG zmierzone w ITS na hamowni podwoziowej, w cyklach jazdy charakterystycznych dla typowych warunków ruchu. Cykle te są odtwarzane z dobrą powtarzalnością w laboratorium i służą do oceny rzeczywistej emisji z samochodów w ruchu drogowym. Najniższa prędkość średnia charakteryzuje cykl jazdy „w korku", a najwyższa – jazdę po autostradzie. Silnik badanego samochodu był wyposażony w układ wtrysku wielopunktowego oraz w mieszalnikowy układ zasilania LPG z regulacją składu mieszanki (drugiej generacji). Wyniki emisji otrzymane podczas pomiarów świadczą o prawidłowej regulacji składu mieszanki przy zasilaniu obu paliwami.

Z porównania zużycia paliwa wynika, że samochód zużywał regularnie od 28 do 30% LPG więcej niż benzyny (wyrażone w dm³ na 100 km), niezależnie od odtwarzanego cyklu jazdy (rys. 6.2).

Na rys. 6.3 przedstawiono wynik pomiarów objętościowego zużycia LPG i benzyny przez samochód z silnikiem gaźnikowym wyposażony w instalację mieszalnikową I generacji, przy stałych prędkościach. Różnica między zużyciem LPG a benzyną wyniosła dla stałej prędkości jazdy od 33 do 43%.

Wyniki pomiarów dowodzą, że zużycie LPG przez samochód, którego silnik zasilany jest mieszanką o prawidłowo regulowanym składzie (bliskim składowi stechiometrycznemu) jest większe o 27...30%, niż zużycie benzyny w tych samych warunkach ruchu. W przypadku stosowania układów zasilania LPG bez sterowania składem mieszanki, różnice zużycia porównywanych paliw mogą być zarówno większe jak i mniejsze od podanych wyżej i zawierają się w granicach od 20 do 40%.



Rys. 6.3. Porównanie zużycia LPG i benzyny przy stałych prędkościach przez samochód wyposażony w układ zasilania LPG I generacji

6.5. Moc silnika

Moc silnika jest iloczynem momentu obrotowego mierzonego na wale korbowym oraz prędkości obrotowej wału korbowego. Przebieg momentu obrotowego w silniku wolnossącym o zapłonie iskrowym zależy głównie od współczynnika napełnienia (otwarcia przepustnicy), prędkości obrotowej, składu mieszanki paliwowo-powietrznej, kąta wyprzedzenia zapłonu oraz innych parametrów konstrukcyjnych silnika.

6.5.1. Moc silnika przy zasilaniu benzyną

Czy moc silnika przy zasilaniu benzyną po zamontowaniu układu zasilania LPG pozostaje bez zmian? Montaż dodatkowych elementów dławiących przepływ w układzie dolotowym, niezbędnych dla właściwej pracy układów zasilania LPG I i II generacji powoduje spadek napełnienia cylindrów, a zatem również spadek momentu obrotowego silnika. Wpływ ten jest tym bardziej widoczny, im większa jest prędkość obrotowa silnika. W typowym przypadku montażu prawidłowo dobranego mieszalnika palnikowego, straty momentu obrotowego silnika rosną ze zwiększaniem prędkości obrotowej, powodując zmniejszenie momentu maksymalnego o około 3% przy prędkości obrotowej mocy maksymalnej. Jeżeli montaż układu zasilania LPG nie wprowadza żadnych strat przepływu w układzie dolotowym, napełnienie cylindrów nie zmienia się (dotyczy to szczególnie układów LPG III i IV generacji).

Występującym sporadycznie problemem jest zaburzenie pracy układu sterowania silnikiem przez niewłaściwą ingerencję w instalację elektryczną samochodu. Problem ten nie występuje pod warunkiem stosowania się do zaleceń producenta instalacji LPG dotyczących jej montażu.

6.5.2. Moc silnika przy zasilaniu LPG

Wartość opałowa stechiometrycznej mieszanki powietrza z LPG, odniesiona do jednostki masy, jest niemal identyczna z wartością dla analogicznej mieszanki powietrza z benzyną. Jednak w odniesieniu do jednostki objętości wartość opałowa dla mieszanki powietrza z LPG jest o ok. 3% mniejsza niż dla benzyny. Wynika stąd proporcjonalne zmniejszenie mocy silnika (zakładając, że sprawność zamiany ciepła na pracę w silniku przy zasilaniu obydwoma paliwami jest jednakowa).

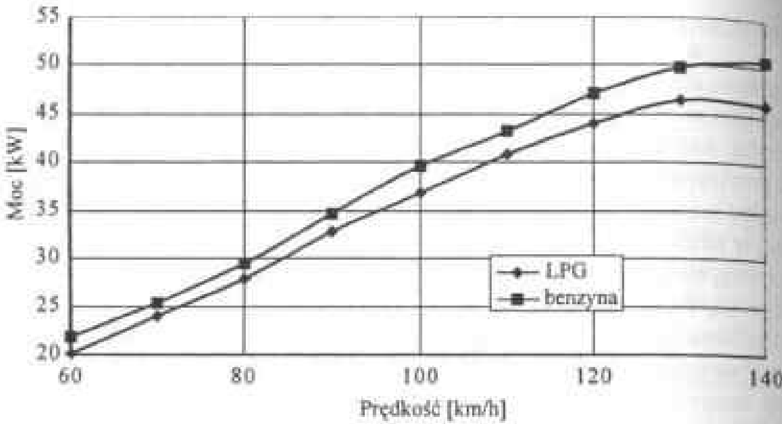
W rzeczywistości różnice w osiągach silnika przy zasilaniu oboma rodzajami paliw bywają większe, ponieważ:
- układy zasilania benzyną przy prędkościach obrotowych bliskich mocy maksymalnej wzbogacają mieszankę w stopniu optymalnym do osiągnięcia maksymalnej mocy, natomiast skład mieszanki LPG-powietrze regulowany przez układ zasilania LPG nie zawsze odpowiada wartościom optymalnym do osiągnięcia tego celu;
- kąt wyprzedzenia zapłonu optymalny dla zasilania benzyną nie jest optymalny dla zasilania LPG;
- część benzyny dostaje się do cylindra w postaci drobnych kropelek i praktycznie „nie zajmuje w nim miejsca". Zasilanie silnika paliwem LPG całkowicie odparowanym, a ponadto podnoszącym temperaturę[3] w układzie dolotowym silnika, powoduje spadek współczynnika napełnienia;
- układy zasilania benzyną zużywają się i nie zachowują fabrycznych parametrów przez cały okres eksploatacji silnika, co ma wpływ na jego osiągi. Niektóre z niesprawności układu benzynowego wpływają również na moc silnika napędzanego LPG.

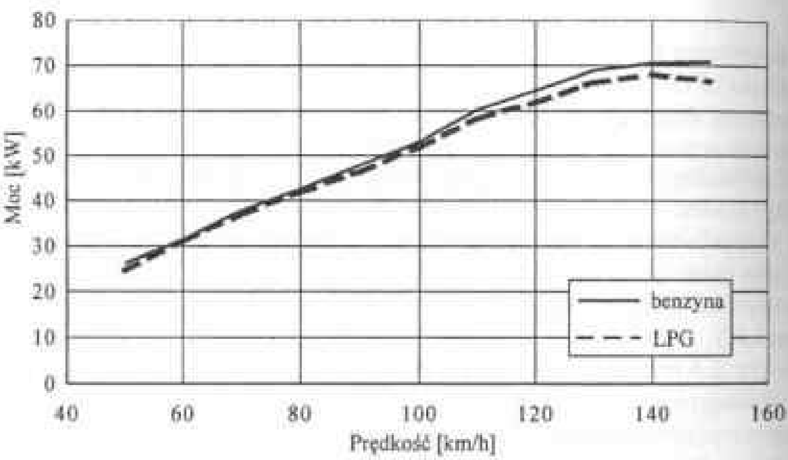
Na rys. 6.4 przedstawiono dwa przykłady przebiegu mocy silnika przy prawidłowo działających układach mieszalnikowych II generacji, montowanych do samochodów o przebiegu kilku tysięcy kilometrów, wyposażonych w reaktor katalityczny oraz sondę lambda. W pierwszym przykładzie moc silnika przy zasilaniu LPG jest niższa w całym zakresie pracy silnika, natomiast w drugim – moc przy zasilaniu LPG i benzyną nie wykazuje zmian do ok. 80% prędkości obrotowej silnika. Jak zatem widać, w przypadku układów mieszalnikowych przebieg mocy silnika przy zmianie paliwa jest indywidualną cechą montażu układu zasilania LPG.

Wyniki porównawczych pomiarów mocy silników samochodów wyposażonych w układy zasilania LPG III i IV generacji nie różnią się zasadniczo od wyżej przytoczonych.

Moc maksymalna silnika zależy nie tylko od rodzaju zasilania. Wpływ ciśnienia atmosferycznego oraz temperatury powietrza powodują kilkuprocentowe wahania maksymalnego momentu obrotowego i mocy maksymalnej. Różnice mocy tego rzędu nie są wyczuwalne dla większości kierujących, niezależnie od tego czy

[3] Z wyjątkiem instalacji firmy Vialle, której działanie obniża temperaturę w układzie dolotowym silnika. Instalacja firmy Vialle jest reklamowana jako instalacja, która dzięki zjawisku chłodzenia powietrza w układzie dolotowym podczas pracy przy zasilaniu LPG, zapewnia porównywalne osiągi silnika przy zasilaniu LPG i benzyną.





Rys. 6.4. Przebieg mocy silnika przy pełnym otwarciu przepustnicy w funkcji prędkości obrotowej silnika (odpowiadającej prędkości jazdy na V biegu), dla dwóch samochodów wyposażonych w układ zasilania LPG II generacji

są spowodowane przez warunki atmosferyczne, czy też przez zmianę rodzaju paliwa dostarczanego do silnika.

W większości przypadków zasilanie silnika LPG skutkuje niewielkim, praktycznie niewyczuwalnym w codziennej eksploatacji spadkiem osiągów samochodu.

6.6. Co się dzieje z benzynowym układem zasilania podczas zasilania LPG?

Układ zasilania silnika jest zaprojektowany do pracy „na benzynie", zatem montaż układu zasilania LPG i użytkowanie samochodu przy zasilaniu LPG powoduje zmiany w pracy benzynowego układu zasilania.

6.6.1. Gaźnik

Przełączenie na LPG w przypadku silników gaźnikowych polega na zamknięciu przepływu benzyny między pompą a gaźnikiem (zamknięcie zaworu benzynowego). Wówczas silnik zużywa benzynę z komory pływakowej i przewodów za zaworem odcinającym. Po otwarciu dopływu gazu do gaźnika wypełnia się on w całej objętości mieszaniną palną LPG z powietrzem (opis metodyki przełączania zasilania z benzyny na LPG dla silników gaźnikowych został zamieszczony wcześniej).

Podczas pracy silnika na LPG komora pływakowa gaźnika jest pusta, a pływak wisi na osi. Gaźnik jest połączony sztywno z silnikiem, zatem drgania silnika przenoszą się na gaźnik. W takiej sytuacji pływak ma możliwość wykonywania ruchów znacznie swobodniej, niż gdy jest amortyzowany przez benzynę zawartą w komorze pływakowej i może ocierać się o ścianki komory. Sprzyja temu zużyta oś pływaka lub jej piasty, zapewniając możliwość większego ruchu. Powoduje to po pewnym czasie zniszczenie pływaka przez przetarcie ścianki na wylot. Uszkodzenie pływaka nie ma wpływu na pracę silnika zasilanego LPG.

Gaźnik, jak każdy mechanizm, zużywa się. Większość gaźników po przebiegu 100 tysięcy kilometrów jest już w znacznym stopniu zużyta.

Istotne znaczenie dla poprawnej pracy układu zasilania LPG ma działanie przepustnic gaźnika. Zużycie piast i osi przepustnic utrudnia regulację biegu jałowego. Zużycie osi przepustnic ma większy wpływ na pracę silnika zasilanego LPG niż benzyną.

W wielu zużytych gaźnikach dwuprzelotowych o podciśnieniowym sterowaniu przepustnicą drugiej gardzieli, przepustnica ta nie otwiera się. Ogranicza to znacznie maksymalny moment obrotowy niezależnie od rodzaju paliwa, którym jest zasilany silnik.

6.6.2. Używanie urządzeń rozruchowych gaźników

Urządzenia rozruchowe gaźników wykonywane są w dwóch wersjach:
- gaźnik rozruchowy,
- przesłona rozruchowa.

Prędkość obrotowa biegu jałowego przy zasilaniu LPG jest często mniejsza niż przy zasilaniu silnika benzyną przy tej samej regulacji gaźnika. Dla podniesienia prędkości obrotowej biegu jałowego przy zasilaniu LPG niezbędne jest niewielkie otwarcie przepustnicy gaźnika. W przypadku występowania gaźnika rozruchowego, właściwa regulacja przepustnic ma duże znaczenie dla odpowiedniego wzbogacania mieszanki podczas rozruchu zimnego silnika na benzynie. Można się o tym przekonać, uruchamiając silnik na benzynie podczas silnego mrozu. Bezpośrednio po uruchomieniu zimnego silnika należy powoli wciskać pedał „gazu" tak, aby nie zadziałała pompka przyspieszająca. Silnik powinien zgasnąć lub przerywać, nie zwiększając płynnie prędkości obrotowej. Świadczy to o tym, że niewielkie otwarcie przepustnic powoduje spadek efektywności działania układu rozruchowego i może utrudnić, a nawet uniemożliwić uruchomienie samochodu zasilanego benzyną w przypadku wystąpienia niskich temperatur otoczenia.

Po przełączeniu zasilania silnika na LPG wszystkie przestrzenie gaźnika są opróżniane z benzyny przez pracujący silnik i wypełniają się mieszanką LPG z powietrzem, a zatem otwarcie zaworu gaźnika rozruchowego spowoduje, że kanałem obejściowym przepustnic jest zasysana pod przepustnicę mieszanka paliwowo-powietrzna. Działanie benzynowego układu rozruchowego gaźnika przy zasilaniu samochodu LPG odpowiada więc lekkiemu otwarciu przepustnicy i powoduje wzrost prędkości obrotowej silnika. Zjawisko to można wykorzystywać do regulacji prędkości biegu jałowego przy zasilaniu silnika paliwem LPG, nie zmieniając ustawienia ogranicznika zamknięcia przepustnicy. Dzięki temu można zachować przewidzianą przez producenta regulację przepustnic dla silnika zasilanego benzyną. Użycie układu rozruchowego nie wpływa na pracę silnika zasilanego LPG w innych warunkach poza biegiem jałowym.

W przypadku gaźnika wyposażonego w przesłonę rozruchową, użycie jej na biegu jałowym podczas zasilania LPG powoduje wzrost prędkości obrotowej, ponieważ wraz z zamykaniem się przesłony rozruchowej otwierana jest przepustnica gaźnika. Urządzenie to nie nadaje się jednak do regulacji prędkości obrotowej silnika podczas normalnej eksploatacji, ze względu na tłumienie przepływu przez przesłonkę rozruchową.

W przypadku tego urządzenia rozruchowego, większe uchylenie przepustnicy na biegu jałowym ma mniejszy wpływ na jego pracę, niż w przypadku gaźnika rozruchowego.

Uwaga! Włączenie urządzenia rozruchowego gaźnika (włączenie „ssania") powoduje wzrost prędkości obrotowej na biegu jałowym silnika zasilanego LPG, lecz nie powoduje wzbogacenia mieszanki LPG-powietrze!

Automatyczne sterowanie urządzeniem rozruchowym gaźnika powoduje nie zawsze pożądane zmiany prędkości obrotowej przy zasilaniu LPG, w warunkach nie w pełni nagrzanego silnika. Stosowane jest niekiedy przez monterów układów LPG odłączanie automatycznego sterowania urządzenia rozruchowego. Mając ręczną kontrolę nad urządzeniem rozruchowym gaźnika sprawuje się lepszą kontrolę nad pracą układu zasilania LPG.

Poza położeniem przepustnic oraz regulacją urządzeń rozruchowych, żaden inny element gaźnika nie ma wpływu na pracę silnika przy zasilaniu LPG.

6.6.3. Układy wtryskowe

Podczas pracy silnika zasilanego LPG, sterowany elektronicznie układ wtrysku benzyny jest w stanie gotowości do podjęcia pracy. Wszystkie części benzynowego układu zasilania pracują tak, jakby silnik był zasilany benzyną. Nieczynne są jedynie wtryskiwacze. Pompa paliwa powinna być zasilana i wypełniona benzyną, natomiast dla zachowania poprawnego działania wtryskiwaczy zaleca się uruchamiać silnik „na benzynie". Wystarcza chwila pracy silnika zasilanego benzyną po rozruchu, dla zachowania pełnej sprawności wtryskiwaczy benzyny. Przestrzeganie powyższych zaleceń eliminuje niekorzystny wpływ LPG na elementy wykonawcze układu zasilania benzyną.

6.6.4. Pompa paliwa

Stosowana powszechnie w układach gaźnikowych przeponowa pompa paliwa, po zamknięciu przewodu paliwowego między pompą a gaźnikiem, pracuje bez odbioru paliwa, zatem ciśnienie zasilania osiąga swoją maksymalną wartość, a komora robocza pompy jest wypełniona paliwem. Nie powoduje to żadnych niekorzystnych skutków dla pompy paliwa. Natomiast praca pompy „na sucho" zmniejsza trwałość przepony.

Elektryczna pompa paliwa jest chłodzona przepływającą przez nią benzyną. Praca „na sucho" grozi jej zniszczeniem. Jeżeli samochód jest zasilany benzyną, to w przypadku opróżnienia zbiornika z benzyny silnik zgaśnie i pompa nie będzie działać, co stanowi jej zabezpieczenie przed zniszczeniem. Jeżeli silnik jest zasilany LPG, a pompa benzynowa pracuje „na sucho", to jej zniszczenie jest tylko kwestią czasu. Ten fakt powoduje, że niekiedy stosuje się odcinanie zasilania pompy paliwa. W nowszych układach wtryskowych sterownik silnika może wykryć nieciągłość obwodu i generować błąd układu, a nawet wyłączyć zapłon.

Jeżeli elektryczna pompa paliwa pracuje podczas zasilania silnika LPG, to w zbiorniku zawsze powinna znajdować się benzyna niezależnie od tego czy silnik ją zużywa, czy też nie.

6.6.5. Zbiornik benzyny

Jeżeli silnik jest uruchamiany na LPG i nie zużywa benzyny, a samochód nie jest wyposażony w elektryczną pompę paliwa, to zbiornik benzyny można bezpiecznie opróżnić. Jeżeli jest to stalowy zbiornik, to należy się liczyć z tym, że szybciej ulegnie korozji pusty niż gdyby był napełniony benzyną.

W przypadku, gdy benzyna jest używana jedynie do uruchamiania silnika, to zbiornik benzyny może starczyć na okres od kilku miesięcy do kilku lat eksploatacji[4]. Należy sobie zdawać sprawę, że w długim okresie benzyna ulega „starzeniu". Wynika to z dwóch przyczyn. Pierwszą z nich jest to, że benzyna podczas przechowywania wykazuje tendencję do tworzenia laków. W celu przeciwdziałania dodawane są związki chemiczne opóźniające ten proces. Uważa się, że przechowywanie benzyny do 12 miesięcy nie stwarza zagrożenia odkładania się laków w zbiorniku paliwa. Drugą przyczyną jest parowanie benzyny. Dobowe wahania temperatury otoczenia, a więc i temperatury paliwa w zbiorniku, powodują zmianę objętości benzyny. W zbiorniku nad powierzchnią paliwa znajduje się przestrzeń wypełniona przez pary benzyny, przede wszystkim jej najlżejsze frakcje. Pod wpływem wzrostu temperatury zawartość zbiornika benzyny rozszerza się i pary paliwa wypychane są do atmosfery przez obwód odpowietrzenia zbiornika paliwa. Zbiornik zasysa powietrze atmosferyczne (zawierające parę wodną), jeżeli temperatura obniża się. Proces ten nazywa się „oddychaniem" zbiornika paliwa. W wyniku „oddychania" uby-

[4] Dla typowego samochodu: zbiornik paliwa o pojemności ok. 40 dm^3, pojemność silnika 1,4 ÷ 1,6 dm^3.

wa paliwa w zbiorniku, a ponadto zmienia ono skład frakcyjny. Lekkie frakcje są odpowiedzialne za możliwość rozruchu silnika w niskich temperaturach. Jeżeli paliwo jest mocno „zwietrzałe", to z nastaniem niskich temperatur będzie coraz trudniej uruchomić silnik przy zasilaniu benzyną, szczególnie w układach gaźnikowych i układach wtrysku jednopunktowego[5].

Ile benzyny należy wozić w zbiorniku paliwa?

Wysoki poziom benzyny w zbiorniku paliwa ogranicza straty spowodowane „oddychaniem zbiornika". Straty te są zależne nie tylko od poziomu paliwa w zbiorniku, lecz również od sposobu odpowietrzenia zbiornika. Jeżeli odpowietrzenie jest typu „atmosferycznego", czyli zbiornik połączony jest bezpośrednio z atmosferą, to ucieczka lekkich frakcji zachodzi bez przeszkód. Stosowane są również obwody odpowietrzenia zbiornika paliwa wyposażone w zawory utrzymujące nadciśnienie w zbiorniku, spowodowane przez wzrost temperatury. Rozwiązanie to zmniejsza efekt parowania paliwa kilkukrotnie w stosunku do odpowietrzania „atmosferycznego".

Rozróżnienie sposobów odpowietrzania jest proste. Jeżeli w czasie otwierania korka wlewu benzyny słychać świst par paliwa, to jest to sposób „ciśnieniowy". Jeżeli opisywany efekt nie występuje, to jest to sposób „atmosferyczny" lub niesprawny „ciśnieniowy", który można w tym przypadku uznać za „atmosferyczny".

Jeżeli samochód jest eksploatowany tylko przy zasilaniu benzyną, to efekty zmian frakcyjnych paliwa są znikome i nie wpływają na eksploatację samochodu, ponieważ co kilka dni zbiornik paliwa jest napełniany świeżym paliwem. Wielomiesięczne lub wieloletnie przechowywanie paliwa w zbiorniku zmienia jego skład frakcyjny w stopniu utrudniającym lub uniemożliwiającym uruchomienie zimnego silnika przy spadku temperatury.

Duża ilość benzyny w zbiorniku to również większe obciążenie samochodu. Zbiorniki paliwa gazowego montowane są przeważnie w tylnej części pojazdu, zatem jeżeli w zbiorniku jest niewielka ilość benzyny, to stanowi to częściową kompensację wzrostu masy w wyniku zamontowania zbiornika LPG. Istotne to jest szczególnie w lekkich samochodach o miękkim zawieszeniu. Reasumując, wożenie dużej ilości benzyny to:

- mniejsze straty „oddychania" zbiornika paliwa,
- zwiększenie obciążenia samochodu,

natomiast wożenie małej ilości benzyny to:

- duże straty „oddychania" zbiornika paliwa,
- częściowa kompensacja masy zamontowanego zbiornika LPG.

W praktyce wypracowana została „recepta" zalecająca wożenie przynajmniej ¼ zbiornika benzyny i częste jej uzupełnianie – w miarę zużycia.

Należy pamiętać, że w zimie stosowana jest benzyna „zimowa" o wyższej zawartości lekkich frakcji ułatwiających rozruch silnika. Z tego powodu benzynę służącą do uruchamiania silnika w niskich temperaturach powinno zatankować się przed nastaniem pory zimowej. Zaleca się ponadto, aby zatankować benzynę „zimową" do możliwie opróżnionego z częściowo „zwietrzałej" benzyny „letniej" (świeci się „rezerwa") zbiornika paliwa. Benzyna „zimowa" rozprowadzana jest od 1 października do 1 marca. W stacjach benzynowych jest dostępna z ok. miesięcznym opóźnieniem.

[5] „Oddychanie" zbiornika powoduje także zawodnienie benzyny i możliwość powstawania „korków lodowych".

6.7. Smarowanie silnika

Problem używania oleju smarnego do silnika zasilanego LPG pojawia się nieraz w artykułach prasy fachowej. Obecnie dostępne są oleje silnikowe specjalnie przeznaczone do silników zasilanych LPG. Funkcje oleju silnikowego nie zmieniają się przy zmianie paliwa. Czym zatem różnią się warunki pracy oleju silnikowego przy zmianie paliwa z benzyny na LPG?

Rozruch zimnego silnika spalinowego zasilanego benzyną wymaga wzbogacenia mieszanki do wartości umożliwiającej spalanie. Powoduje to jednak spłukiwanie oleju smarnego ze ścianek cylindrów oraz jego rozcieńczanie. Zjawisko to występuje najintensywniej w silnikach gaźnikowych.

W literaturze źródłowej [14] i [15] podkreślany jest brak rozcieńczania oleju smarnego benzyną podczas zasilania silnika paliwem gazowym LPG. Oczywiście jest to prawda. Nie należy zapominać jednak, że zjawisko to występuje z największą intensywnością podczas rozruchu zimnego silnika oraz w procesie jego nagrzewania. Zjawisko zachodzi tym intensywniej, im jest niższa temperatura rozruchu oraz im bardziej i dłużej wzbogacona jest mieszanka paliwowo-powietrzna.

W silniku zasilanym LPG zmywanie oleju smarującego ze ścian cylindrów i jego rozcieńczanie praktycznie nie zachodzi. Samochód wyposażony w układ zasilania LPG jest pojazdem dwupaliwowym, z zasady uruchamianym przy zasilaniu benzyną. Latem znaczny procent silników gaźnikowych jest uruchamianych przy zasilaniu LPG, lecz rozruch w temperaturach poniżej –5°C przy zasilaniu LPG jest poważnie utrudniony, a właśnie wtedy zjawisko spłukiwania filmu olejowego przez benzynę zachodzi najintensywniej.

Temperatura w komorze spalania silnika zasilanego LPG o poprawnie przebiegającym procesem spalania, nie różni się istotnie od temperatury wytwarzanej przy spalaniu benzyny, w tych samych warunkach obciążenia.

W literaturze [14] i [15] spotyka się zgodne opinie o podwyższeniu temperatury w komorach spalania, spowodowanym pracą silnika na zubożonej mieszance LPG-powietrze. Powodem nie są tu właściwości paliwa, lecz zubożenie mieszanki wskutek niedoskonałości układu zasilania. Prowadzi to do wzrostu lepkości oleju na skutek jego polimeryzacji, intensyfikacji procesów korozji wskutek działania kwaśnych substancji, głównie kwasu azotowego, oraz do zapoczątkowania powstawania osadów szlamowych, a także lakowych.

Obserwacje te są zbieżne z doświadczeniami autorów. Spory odsetek samochodów, szczególnie wyposażonych w układy zasilania LPG I i II generacji (układy mieszalnikowe) jest zasilanych mieszankami ubogimi, lecz stanu tego nie można traktować jako normalnego dla silnika spalinowego, nie dostosowanego konstrukcyjnie do spalania mieszanek ubogich.

Właściwy dobór elementów, sposób montażu układu zasilania LPG oraz przeprowadzane regulacje, mogą zmniejszyć ryzyko zubażania mieszanki LPG-powietrze do minimum. Nowsze układy zasilania LPG (III i IV generacji) nie dopuszczają do tak dużego i długotrwałego zubożenia mieszanki, przełączając w takich przypadkach zasilanie z LPG na benzynę i oszczędzając w ten sposób silnik.

Specjalne oleje silnikowe są przygotowane do ciężkich warunków pracy w silnikach o źle wyregulowanych układach LPG, ograniczając nieco rozmiar zniszczeń w silnikach. Jednak przegrzanie głowicy prowadzi do uszkodzenia zaworów wylotowych oraz ich uszczelniaczy, przed czym żaden olej smarny nie ochroni.

Stosowanie specjalnych olejów silnikowych ma zatem sens w przypadku układów I i II generacji (mieszalnikowych), nie wyposażonych w funkcję przełączania na zasilanie benzyną po wykryciu, że mieszanka LPG-powietrze jest nadmiernie zubożona.

6.8. Układ chłodzenia silnika

W celu zapewnienia właściwej pracy reduktora niezbędne jest jego podgrzewanie. W samochodach wyposażonych w silniki chłodzone cieczą przestrzeń cieczowa reduktora LPG jest dołączana do układu chłodzenia silnika. Ciecz przetłaczana w układzie chłodzenia[6] przepływa przez przestrzeń wodną reduktora ogrzewając go.

Reduktor działa jako dodatkowa chłodnica w układzie chłodzenia silnika, o wydajności chłodzenia zależnej od chwilowego zużycia paliwa przez silnik samochodu.

Ciepło parowania LPG stanowi średnio 0,85% ciepła spalania. Jeżeli przyjąć szacunkowo, że 30% energii, która wywiązuje się w procesie spalania jest odprowadzane przez układ chłodzenia, to ciepło parowania niezbędne do odparowania LPG oraz podgrzania fazy gazowej LPG w reduktorze nie przekracza 3% energii odprowadzanej przez układ chłodzenia.



Rys. 6.5. Podłączenie reduktora do układu chłodzenia silnika
1 – reduktor, 2 – mieszalnik, 3 – nagrzewnica, 4 – przewody doprowadzające ciecz chłodzącą do nagrzewnicy, 5 – trójniki do podłączenia przewodów doprowadzających ciecz do reduktora, 6 – przewody doprowadzające ciecz chłodzącą do reduktora

[6] Jeżeli silnik samochodu jest nagrzany, to temperatura cieczy chłodzącej wynosi ok. 80°C.

Układ chłodzenia silnika ma znaczne rezerwy mocy chłodniczej, zatem dołączenie reduktora do układu chłodzenia nie zmienia zauważalnie jego pracy.

Reduktor jest włączany równolegle z wymiennikiem ciepła układu przewietrzania wnętrza samochodu. W zależności od miejsca dołączenia przewodów reduktora oraz wielkości reduktora, może to spowodować spadek natężenia przepływu cieczy chłodzącej silnik przez ten wymiennik, szczególnie gdy jest on częściowo niedrożny.

6.9. Układ zasilania LPG w samochodach z silnikami chłodzonymi powietrzem

Montaż układu zasilania LPG w samochodach wyposażonych w silniki chłodzone powietrzem napotyka problem grzania reduktora. Jak opisano w rozdziale 3, w celu odparowania LPG niezbędne jest doprowadzenie do niego pewnej ilości ciepła od cieczy chłodzącej. Temperatura cieczy z układu chłodzenia silnika wynosi ok. 80°C. Przepływa ona przez przestrzeń cieczową ogrzewającą komorę I stopnia regulacji ciśnienia[7]. Ponieważ w silnikach chłodzonych powietrzem brak jest tego czynnika, jako źródło ciepła wykorzystywane są spaliny.

Znane są trzy metody wykorzystania ciepła zawartego w spalinach:
- bezpośrednie ogrzewanie reduktora,
- ogrzewanie dodatkowej przestrzeni cieczowej,
- ogrzewanie parownika wspawanego w układ wylotowy.

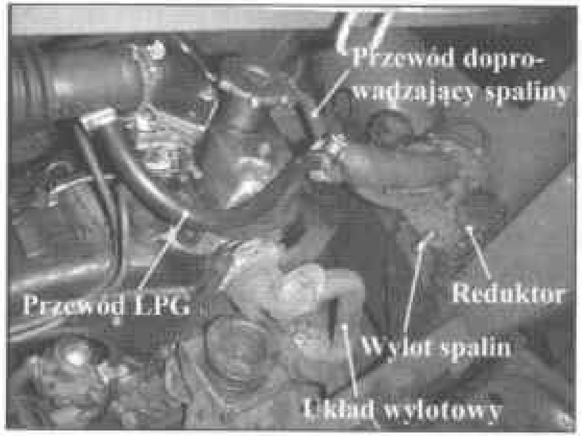
Poniżej opisano te metody.

- Metoda polegająca na wykorzystaniu spalin jako medium ogrzewające reduktor.

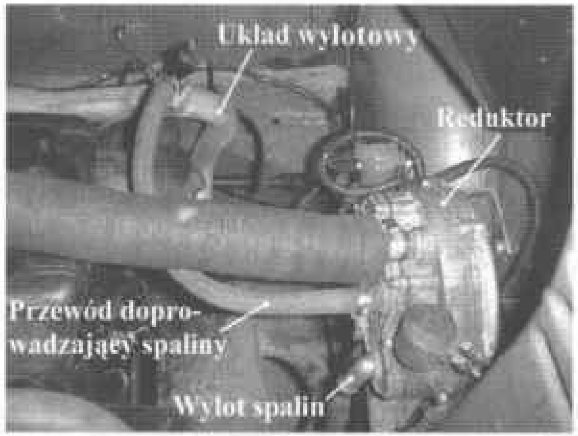
W prezentowanym wykonaniu reduktor jest zamontowany w komorze silnika w pobliżu elementów układu wylotowego, przez które przepływają gorące spaliny (fot. 6.1). Spaliny są doprowadzane do reduktora przez końcówkę wspawaną do układu wylotowego oraz przez przewód giętki (fot. 6.2 i 6.3). Dostają się one do przestrzeni cieczowej reduktora, która jest przystosowana do dołączenia do układu chłodzenia silnika.

Temperatura cieczy chodzącej silnik w normalnych warunkach pracy nie przekracza 110°C, natomiast temperatura spalin może osiągać wartości do 800°C (mierzona w kanale wylotowym z głowicy) przy rozwijaniu mocy maksymalnej. W czasie normalnej eksploatacji temperatura spalin jest znacznie niższa. W rozwiązaniu przedstawianym na fot. 6.1 ÷ 6.3 punkt poboru spalin jest umieszczony daleko od głowicy, zatem spaliny ochładzają się w rurze wylotowej oraz w przewodzie doprowadzającym spaliny do reduktora, lecz mimo to temperatura spalin jest wyższa niż temperatura cieczy w układzie chłodzenia silnika.

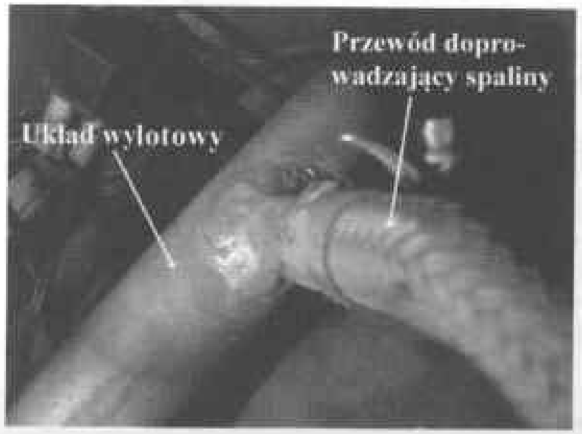
[7] Więcej w opisie reduktorów.



Fot. 6.1. Komora silnika Polskiego Fiata 126p z zamontowanym układem zasilania LPG



Fot. 6.2. Podłączenie reduktora do układu wylotowego w celu umożliwienia odparowania LPG



Fot. 6.3. Sposób podłączenia rury doprowadzającej spaliny do reduktora

Przestrzeń cieczowa w wielu reduktorach (fot. 3.15) ma styczność z przeponą I stopnia regulacji ciśnienia. Jeżeli do tej przestrzeni wprowadzi się spaliny, to na przeponę działa wysoka temperatura oraz agresywne substancje chemiczne zawarte w gazach wylotowych. Ponieważ wylot spalin z reduktora jest wyprowadzony do komory silnika, to awaria przepony grozi wypływem LPG pod dużym ciśnieniem wprost do komory silnika!

W przykładzie prezentowanym na fot. 6.1 ÷ 6.3 użyto reduktora, w którym przestrzeń cieczowa nie styka się z przeponą, lecz elementom z tworzywa sztucznego grozi niebezpieczeństwo przegrzania, ze względu na dużo wyższą temperaturę spalin w porównaniu z temperaturą cieczy chłodzącej. Przegrzanie może wystąpić zwłaszcza podczas jazdy przy zasilaniu benzyną, z powodu nie występowania chłodzenia reduktora przez parujące paliwo LPG. Wynika to z tego, że przy zasilaniu benzyną nie następuje odparowanie LPG, które odprowadza ciepło. Dla zabezpieczenia się przed przegrzaniem reduktora, należałoby zamontować zawór na doprowadzeniu spalin do przestrzeni cieczowej.

Intensywność ogrzewania reduktora spalinami jest nieregulowana. Przepływ spalin przez reduktor zależy od mocy rozwijanej przez silnik (również od ilości odparowywanego LPG). Jeżeli już ktoś decyduje się na tak niepewne rozwiązanie, to powinien chociaż sprawdzić temperaturę LPG na wyjściu z reduktora. Przy rozwijaniu mocy maksymalnej przez silnik temperatura LPG nie powinna być niższa niż 20°C. Regulacja temperatury LPG na wyjściu z reduktora wynika tylko z dławienia strumienia spalin przez reduktor (zmniejszenie) lub z dławienia wylotu spalin z układu wylotowego (zwiększenie).

Jak stąd wynika, uszkodzenie układu wylotowego (np. dziura w tłumiku) ma wpływ na intensywność ogrzewania reduktora.

Uwaga! Bezpośrednie ogrzewanie spalinami powoduje niebezpieczeństwo, że reduktor może nie osiągnąć zakładanego wydatku odparowania LPG, zatem możliwe jest „zamrożenie" lub przegrzanie reduktora!

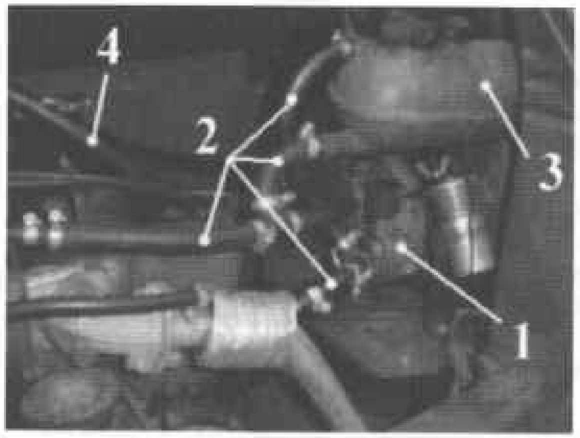
Metoda ta jest niezgodna z wymaganiami dotyczącymi zabudowy układów zasilania LPG.

- Metoda polegająca na wykorzystaniu cieczy ogrzewanej ciepłem spalin.

Warunki zabudowy układu zasilania LPG dopuszczają zamontowanie obiegu cieczy w silniku chłodzonym powietrzem. W tym rozwiązaniu ciecz krążąca w obiegu pobiera energię ze spalin i oddaje ciepło do reduktora. W wykonaniu o wysokim poziomie technicznym wymiennikiem jest tłumik o podwójnych ściankach (z płaszczem cieczowym). Element taki jest jednak kosztowny.

Poniżej przedstawiono prawidłowy sposób montażu układu zasilania LPG do samochodu Polski Fiat 126p, wykonany w sposób prosty i tani.

Reduktor jest zamontowany w komorze silnika. Króćce reduktora podłączone są do obiegu cieczy, której cyrkulację zapewnia przeponowa pompa paliwa. W obieg cieczy włączona jest rurka miedziana kilkakrotnie owinięta wokół rury wylotowej, która pełni funkcję wymiennika ciepła. W obieg cieczy włączony jest zbiorniczek wyrównawczy. Pompa benzyny zamontowana fabrycznie do samocho-



Fot. 6.4. Rozwiązanie ogrzewania reduktora cieczą 1 – reduktor, 2 – przewody cieczy, 3 – zbiornik wyrównawczy, 4 – przewód LPG



Fot. 6.5. Rozwiązanie wymuszenia obiegu cieczy 1 – pompa benzyny, 2 – oryginalna pompa paliwa wykorzystana do przepompowywania cieczy chłodzącej, 3 – przewody doprowadzające ciecz do reduktora

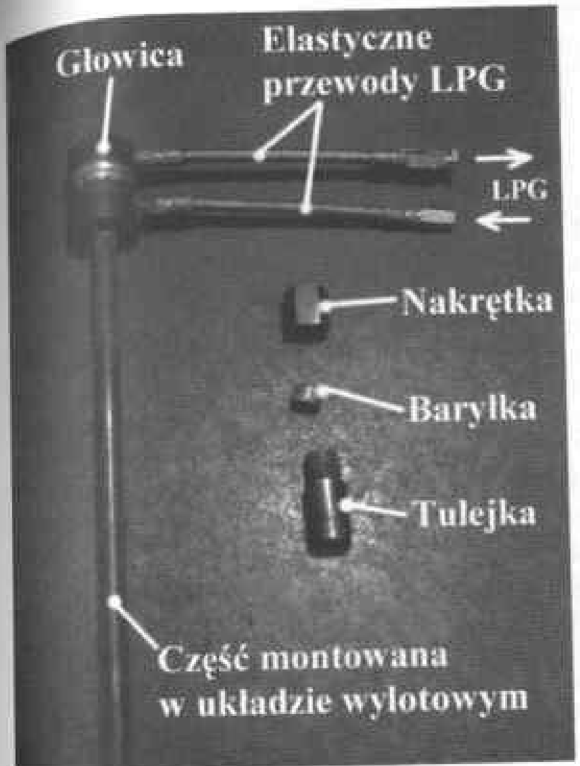
du jest wykorzystywana do pompowania cieczy, zatem dla zapewnienia podawania benzyny do silnika została zamontowana pompa o napędzie elektrycznym.

Obieg cieczy zabezpiecza reduktor przed przegrzaniem. Dobór „mocy grzewczej" wymiennika ciepła na rurze wylotowej należy wykonać przez pomiar temperatury LPG w fazie gazowej na wyjściu z reduktora.

- Parownik w układzie wylotowym (zwany także sondą).

Wspomniano w rozdziale 3, że reduktor może pracować zasilany fazą gazową LPG, a nie ciekłą. Ponadto LPG pod ciśnieniem par nasyconych jest w równowadze faz, co znaczy że podgrzanie powoduje odparowanie części paliwa LPG. Zjawiska te są wykorzystane w układach LPG montowanych do silników chłodzonych powietrzem.

Element przedstawiony na fot. 6.6 jest przeznaczony do pracy wewnątrz układów wylotowych. Po wykonaniu otworu w tłumiku należy wspawać tulejkę, w którą



Fot. 6.6. Parownik przeznaczony do montowania w układzie wylotowym

wprowadza się parownik, a połączenie uszczelnia przez spęczenie baryłki miedzianej między tulejką i nakrętką.

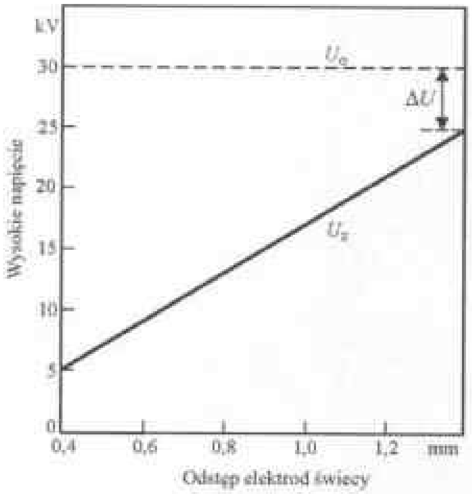
Głowica parownika jest wyposażona w przewody elastyczne dla skompensowania ruchów układu wylotowego w stosunku do nadwozia samochodu, do którego montowane są pozostałe elementy układu LPG.

LPG wprowadzane do jednego przewodu, przepływa w środku parownika do jego części, która jest zamontowana wewnątrz tłumika, gdzie jest podgrzewane i odparowywane. Po przejściu przez parownik, LPG znajduje się częściowo lub całkowicie w fazie gazowej. Jeżeli LPG jest doprowadzone do reduktora w fazie gazowej, to reduktor nie wymaga ogrzewania.

Uwaga! Metoda ta jest niezgodna z wymaganiami dotyczącymi zabudowy instalacji LPG.

6.10. Układ zapłonowy

W procesie powstawania iskry między elektrodami świecy zapłonowej wyróżniane są dwie fazy. W pierwszej fazie napięcie rośnie do wartości, która zapewnia zainicjowanie łuku elektrycznego. Powstanie obszaru zjonizowanego gazu między elek-



Rys. 6.6. Zależność napięcia od odstępu między elektrodami świecy zapłonowej. U_0 – napięcie graniczne, U_z – napięcie zapłonu, ΔU – rezerwa napięcia

trodami świecy zapłonowej powoduje spadek napięcia niezbędnego do podtrzymania łuku elektrycznego i energia zgromadzona w układzie zapłonowym rozładowuje się, podtrzymując wyładowanie.

Część inicjująca nazywana jest czołem iskry, natomiast faza wyładowania – ogonem. Energia zmagazynowana w układzie zapłonowym jest wykorzystywana przez obie fazy. Jeżeli napięcie przebicia rośnie, to większa część energii wykorzystywana jest przez pierwszą fazę, co zmniejsza czas trwania wyładowania i energię iskry.

Układ zapłonowy jest przystosowany do silnika zasilanego benzyną. Zmiana rodzaju zasilania na LPG powoduje zwiększenie napięcia niezbędnego do przeskoku iskry o około 30%. Zmienia to proporcje energii poszczególnych faz łuku elektrycznego. Spowodowane zwiększaniem napięcia przebicia zmniejszenie energii dostarczonej w fazie wyładowania indukcyjnego (ogon iskry), może spowodować spalanie przewlekłe lub nie wystarczyć do zainicjowania spalania mieszanki[8].

Im wyższe napięcie przebicia na świecy, tym większe napięcie w części wysokiego napięcia, co stawia wyższe wymagania dla jej izolacji. Niekiedy występuje problem z przewodami wysokiego napięcia oraz świecami zapłonowymi, które nie wytrzymują zwiększonego napięcia. Na zniszczonych z tego powodu przewodach widoczne są białe smugi, natomiast na świecach charakterystyczne czarne smugi na izolatorze przypominające wyglądem pęknięcia. Samochód z uszkodzonym układem zapłonowym wyposażony w mieszalnikowy układ zasilania LPG, zaczyna „strzelać" przy zasilaniu LPG.

W takim przypadku konieczne jest zastosowanie wysokiej jakości przewodów wysokiego napięcia i odpowiednich świec zapłonowych. Stosowane jest również zmniejszenie odległości między elektrodami świec zapłonowych o 0,1 do 0,2 mm, co powoduje zmniejszenie szczytowego napięcia w wysokonapięciowej części układu zapłonowego.

[8] Do zainicjowania spalania niezbędne jest dostarczenie minimalnej wymaganej ilości energii.

6.11. Odpowietrzenie skrzyni korbowej

Wszystkie silniki samochodowe (z wyjątkiem konstrukcji muzealnych) wyposażone są w układ wymuszonego odpowietrzenia skrzyni korbowej.

Gazy spalinowe przedostają się do skrzyni korbowej silnika przez pierścienie tłokowe oraz przez luz między prowadnicą i trzonkiem zaworu w suwie wylotu. Wnętrze skrzyni korbowej jest połączone z kolektorem dolotowym lub filtrem powietrza i odprowadza przedmuchy spalin do układu zasilania.

Ilość tych gazów, składem zbliżonych do spalin i wzbogaconych w pary paliwa oraz rozpylony olej silnikowy, jest zależna od obciążenia silnika oraz stopnia jego zużycia.

Silniki w dobrym stanie technicznym odprowadzają niewielkie ilości gazów ze skrzyni korbowej. Natomiast silniki bardzo zużyte muszą odprowadzić do układu dolotowego tak duże ilości gazów, że wpływa to wyraźnie na ich pracę, w szczególności na biegu jałowym. Niezależnie od paliwa, którym silnik jest zasilany, wprowadzanie do układu zasilania dużych ilości gorących spalin powoduje zwiększenie resztek spalin w komorze spalania i zawężenie granic palności mieszanki, a nawet wypadanie zapłonów.

Przy zasilaniu LPG, wprowadzanie dużych ilości gazów z układu odpowietrzenia skrzyni korbowej powoduje zaburzenia w regulacji składu mieszanki. Duże ilości wprowadzanego rozpylonego oleju silnikowego w niektórych rozwiązaniach układu zasilania skutecznie zanieczyszczają filtr powietrza, co powoduje całkowite rozregulowanie się układu zasilania LPG, nawet wyposażonych w silnik krokowy sterujący składem mieszanki.

Zakład montujący układ zasilania LPG do samochodu powinien odmówić montażu do bardzo zużytego silnika, zdając sobie sprawę, że regulacja układu LPG w tym samochodzie może okazać się nieskuteczna.

Stosowanym i skutecznym wyjściem jest odłączenie odpowietrzenia i wypuszczenie gazów ze skrzyni korbowej do atmosfery (tzw. odma), lecz jest to metoda niedopuszczalna przez warunki techniczne i taki samochód powinien zostać odrzucony na przeglądzie technicznym.

6.12. Uszkodzenia silnika

Uszkodzenie lub zmniejszenie mocy silnika przy zasilaniu LPG może nastąpić z kilku przyczyn:

- „strzał" występujący w układach mieszalnikowych,
- przekroczenie maksymalnej dopuszczalnej prędkości obrotowej silnika,
- uszkodzenie zaworów i głowicy na skutek zasilania silnika zubożoną mieszanką,
- uszkodzenie reaktora katalitycznego na skutek zasilania silnika bogatą mieszanką.

6.12.1. „Strzały" w gaźnik

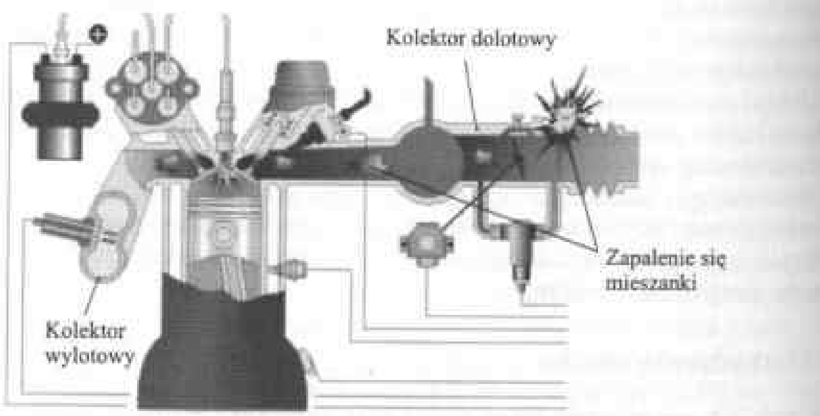
»„Strzały" w gaźnik[9] są powodowane przez niedomagania układu zasilania prowadzące do nadmiernego zubożenia mieszanki paliwowo-powietrznej. Przy dużym współczynniku nadmiaru powietrza prędkość spalania jest niewielka. W związku z tym proces spalania przeciąga się na suw wydechu, wskutek czego świeża mieszanka napływająca przez zawór ssący, który otwiera się przed zamknięciem wydechowego, zapala się od pozostałych w cylindrze dopalających się gazów.

W przypadku, gdy prędkość frontu płomienia jest większa od prędkości przepływu mieszanki, przesuwa się on przez kanał ssący, przewód ssący w kierunku gaźnika. Spalaniu w kanale ssącym towarzyszą efekty akustyczne określane jako „strzały". Front płomienia samoczynnie wygasa po osiągnięciu gaźnika. „Strzały" w gaźnik nie zawsze są rezultatem zasilania silnika ubogą mieszanką. Przy pracy na mieszance o właściwym składzie mogą one następować m.in. wskutek zbyt małego kąta wyprzedzenia zapłonu lub w przypadku nieszczelności zaworu ssącego.

Należy podkreślić, że szczególnie korzystne warunki do powstania omawianej usterki istnieją przy częściowym otwarciu przepustnicy. Duża zawartość resztek spalin w cylindrze przyczynia się do znacznego zmniejszenia prędkości spalania.«

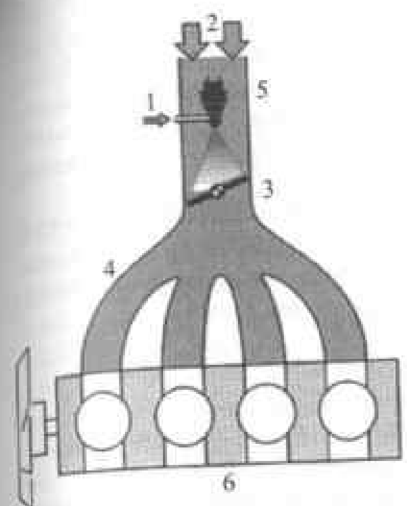
Powyższy tekst opublikowany w 1974 roku w książce [16] nie stracił nic na aktualności, także w przypadku mieszalnikowych układów zasilania LPG.

O „strzałach", które są oznaką niesprawności układu zasilania silnika, pamięta dziś już niewielu. W epoce silników gaźnikowych zjawisko „strzału", choć nieprzyjemne, nie pociągało za sobą większych uszkodzeń silnika i było akceptowane jako normalne w eksploatacji samochodu. Postęp w konstruowaniu gaźników,



Rys. 6.7. Zjawisko „strzału" w gaźnik jest spowodowane przez zapalenie się mieszanki palnej w układzie dolotowym silnika [8]

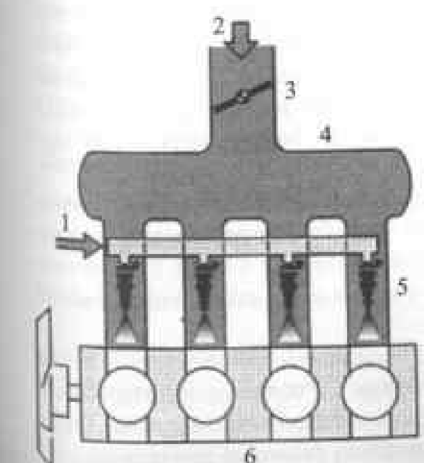
[9] „Strzał" w gaźnik określa zjawisko zapalenia się mieszanki palnej w układzie dolotowym silnika, niezależnie od zastosowanego układu zasilania benzyną.



Rys. 6.8. W układach zasilania gaźnikowych oraz wtrysku jednopunktowego benzyny, jak również w przypadku mieszalnikowych układów zasilania LPG, cała objętość kolektora dolotowego jest wypełniona mieszaniną palną [8]
1 – paliwo, 2 – powietrze, 3 – przepustnica, 4 – kolektor dolotowy, 5 – wtryskiwacz, 6 – silnik

a zwłaszcza bogata (najczęściej zbyt bogata) ich regulacja na biegu jałowym powodowała, że zjawisko to występowało marginalnie. Strzały świadczą o niesprawności silnika, a występują przeważnie przy skrajnie zużytym łańcuchu rozrządu bądź w wyniku uszkodzeń gaźnika.

Wprowadzenie wtrysku jednopunktowego w miejsce gaźnika spowodowało znaczne polepszenie sterowania składem mieszanki paliwowo-powietrznej, jak również znaczne ograniczenie możliwości „naprawy" układów zasilania przez właścicieli pojazdów oraz warsztaty nie wyposażone w podstawowe urządzenia diagnostyczne. „Strzały" praktycznie zanikły w tych układach zasilania, choć w przypadkach awaryjnych nie można wykluczyć ich wystąpienia.



Rys. 6.9. W układach wtrysku wielopunktowego benzyny oraz wtrysku LPG, w kolektorze dolotowym znajduje się niewielka ilość mieszanki [8]
1 – paliwo, 2 – powietrze, 3 – przepustnica, 4 – kolektor dolotowy, 5 – wtryskiwacze, 6 – silnik

Wprowadzenie w silnikach benzynowych wtrysku wielopunktowego, w którym paliwo wtryskiwane jest bezpośrednio do kanału głowicy na zawór dolotowy, ograniczyło możliwość występowania tego zjawiska do minimum. W kolektorze dolotowym nowoczesnych silników nie tworzy się już mieszanka paliwowo-powietrzna, zatem paląca się mieszanka po cofnięciu się płomienia z komory spalania napotyka w kolektorze dolotowym powietrze i płomień gaśnie.

Wraz z wprowadzeniem do eksploatacji układów mieszalnikowych LPG, nastąpił powrót do sytuacji, gdy cała objętość kolektora dolotowego, a nawet przewodu łączącego kolektor dolotowy z filtrem powietrza, jest wypełniona mieszanką paliwowo-powietrzną (taką samą jaka jest spalana w komorze spalania).

Czynniki sprzyjające wystąpieniu zjawiska „strzału"

Technika jazdy

Technika jazdy ma kluczowe znaczenie dla zapobiegania zjawisku „strzału". Doświadczenia eksploatacyjne dowodzą, że „strzał" występuje najczęściej po zdecydowanym naciśnięciu pedału „gazu" przy małej prędkości obrotowej silnika, czyli małej prędkości przepływu mieszanki przez zawór dolotowy.

Gwałtowne otwarcie przepustnicy powoduje wzrost prędkości przepływu powietrza przez mieszalnik. Układ mieszalnikowy nie jest w stanie w sposób dostatecznie szybki reagować zwiększeniem wydatku LPG na zmiany otwarcia przepustnicy, aby zachować skład mieszanki.

Prędkość przepływu wzrasta tym gwałtowniej im:
- większą objętość ma układ dolotowy pod przepustnicą (kolektor dolotowy),
- większa jest przed otwarciem przepustnicy różnica ciśnień przed i za przepustnicą,
- prędzej otwierana jest przepustnica.

Szybki wzrost prędkości przepływu powietrza następuje po otwarciu przepustnicy silnika pracującego na biegu jałowym. Ciśnienie pod przepustnicą silnika pracującego na biegu jałowym wynosi ok. 40 kPa, a nad przepustnicą ok. 100 kPa.

Typowe okoliczności zjawiska „strzału" występują, gdy silnik pracuje nierówno na biegu jałowym z tendencjami do zmniejszania prędkości obrotowej. Naturalnym odruchem jest naciśnięcie na pedał „gazu" dla zapobieżenia zgaśnięciu silnika. Nierówna praca silnika może świadczyć o zubożeniu mieszanki palnej LPG, a nagłe naciśnięcie na „gaz" chwilowo zubaża ją jeszcze bardziej (z powodów opisanych wyżej).

Dla celowego sprowokowania zjawiska „strzału" trzeba ruszyć z pierwszego biegu, włączyć np. bieg IV i mocno obciążyć silnik (puścić pedał sprzęgła i wcisnąć pedał „gazu"). Odpowiada to dynamicznemu ruszeniu z miejsca z omyłkowo włączonym IV biegiem zamiast II. Samochód wyposażony w mieszalnikowy układ LPG może nie wybaczyć tego błędu.

Zdarza się również, że silnik „strzela" po puszczeniu pedału „gazu". Ma to miejsce wtedy, gdy silnik wyregulowany jest „ubogo". Przymknięcie przepustnicy powoduje zmniejszenie napełnienia cylindra, zwiększenie współczynnika resztek spalin i co za tym idzie zawężenie granic zapalności mieszanki paliwowo-powietrznej.

Kierowcy, operujący płynnie pedałem „gazu" (co nie oznacza, że jeżdżący powoli bądź flegmatycznie), potrafią jeździć latami, nie powodując strzału w samochodach, które kierowane przez innego kierowcę będą „strzelały".

Ideałem jest praca mieszalnikowego układu zasilania LPG w samochodzie wyposażonym w automatyczną skrzynkę biegów, z kierującym bez ambicji „sportowych".

Regulacja „oszczędna"

Zubożenie mieszanki paliwowo-powietrznej prowadzi do przeciągania się spalania, jak również do pogorszenia warunków zapłonu mieszanki paliwowo-powietrznej. Jeżeli silnik zasilany jest mieszanką ubogą, to złożenie się niekorzystnych okoliczności może doprowadzić do chwilowego zubożenia mieszanki w stopniu powodującym „strzał". Do tych okoliczności należy zaliczyć szybkie otwarcie przepustnicy opisane powyżej, jak również nieszczelności układu zasilania, brak obwodu kompensacji II stopnia regulacji ciśnienia reduktora LPG i inne.

Zasilanie silnika mieszanką ubogą może być spowodowane niewłaściwą regulacją układu LPG bądź jego rozregulowaniem. Więcej na ten temat napisano w rozdziale 3.

Innym powodem zubożenia mieszanki jest jazda aż do wyczerpania paliwa LPG w zbiorniku, nieszczelności kolektora dolotowego, jak również innych elementów układu dolotowego.

Układ zapłonowy

Zasilanie silnika paliwem LPG powoduje większe wymagania dla układu zapłonowego. Podstawowym warunkiem ograniczającym możliwość wystąpienia „strzału" jest zapewnienie odpowiedniej sprawności układu zapłonowego. W kartach gwarancyjnych instalacji LPG jest wpisany punkt obligujący właściciela samochodu do okresowej wymiany świec zapłonowych. Nie mniej istotne są pozostałe elementy układu zapłonowego, w tym przewody wysokiego napięcia. Oszczędności na elementach układu zapłonowego mogą być kosztowne. Nie należy oszczędzać kupując najtańsze elementy, jak na przykład przewody zapłonowe nieznanego producenta.

Rozrząd

Usterki układu rozrządu, np. przesunięty o jeden „ząbek" rozrząd lub zużyty łańcuch rozrządu, sprzyjają występowaniu zjawiska strzału.

Zawory

Utrata szczelności zaworu dolotowego może spowodować zapalenie paliwa w kolektorze dolotowym.

Ochrona przeciwstrzałowa

Kolektory dolotowe

Jeżeli kolektor dolotowy jest wykonany z metalu, nie grozi mu zniszczenie wskutek „strzału". Kolektory takie są stosowane we wszystkich rodzajach układów zasilania silników: od gaźnikowych po silniki z wtryskiem wielopunktowym.

Wraz z wprowadzeniem wtrysku wielopunktowego kolektor dolotowy przestał być urządzeniem zapewniającym odparowanie mieszanki paliwowo-powietrznej oraz prawidłowy rozdział paliwa do cylindrów. W układach wielopunktowego wtrysku benzyny rola kolektora została zredukowana do przewodu, służącego do dostarczania powietrza do kanału dolotowego w głowicy silnika. Prawdopodobieństwo wystąpienia „strzału" przy zasilaniu benzyną zostało ograniczone do minimum. Nieistotna okazała się wytrzymałość metalu ani jego przewodność cieplna. Tańsze w produkcji kolektory z tworzyw sztucznych wypierają stopniowo kolektory metalowe[10].

Zastosowanie dorabianych kolektorów metalowych

Kolektory dolotowe wykonywane z tworzyw sztucznych są stosowane wyłącznie w silnikach wyposażonych w wielopunktowy wtrysk benzyny. Kolektory metalowe są wykonywane metodami rzemieślniczymi jako konstrukcje spawane z blach i rur stalowych. Kształt dorabianych kolektorów nie jest całkowicie zgodny z kształtem kolektorów oryginalnych. Może to powodować zmianę częstotliwości drgań gazu w kolektorze i wpływać na przebieg momentu maksymalnego. Jeżeli spadki ciśnienia w odgałęzieniach kolektora dolotowego nie są jednakowe, to powoduje to przy zasilaniu LPG niejednakowe napełnienie poszczególnych cylindrów, natomiast przy zasilaniu benzyną – także różny skład mieszanki palnej w poszczególnych cylindrach. Różnice te nie powinny być jednak wyczuwalne dla prowadzącego pojazd w typowych warunkach drogowych ani wpływać istotnie na trwałość silnika pojazdu.

Jak widać na fot. 6.7, dorabiane kolektory dolotowe tym są podobniejsze do pierwowzorów, im mają one prostszy kształt. Na zdjęciu górnym przedstawiono kolektor oryginalny o długich krzywoliniowych kanałach. Stalowa kopia znacznie odbiega od oryginału – kanały są o około połowę krótsze. Kolektor z tworzywa sztucznego przedstawiony na zdjęciu dolnym charakteryzuje się prostymi kształtami, łatwiejszymi do skopiowania.

Ocenianie kolektorów „na oko", jak też opracowywanie konstrukcji kolektorów bez weryfikacji parametrów pracy silnika może być błędne.

Niezależnie od wątpliwości nasuwających się do tak wykonanego kolektora dolotowego, rozwiązanie to jest stosowane i eliminuje problem niedostatecznej wytrzymałości plastykowego kolektora dolotowego w przypadku wystąpienia „strzału".

Stosowanie zaworów odciążających

W czasie „strzału" spalająca się mieszanka paliwowo-powietrzna powoduje gwałtowny wzrost ciśnienia. Stąd pomysł zastosowania zaworów ograniczających ten wzrost. W kolektorze dolotowym silnika wolnossącego panuje podciśnienie w czasie pracy silnika. Zatem jest możliwe zastosowanie samoczynnych zaworów otwie-

[10] W większości przypadków odróżnienie kolektora z tworzyw sztucznych od metalowego nie jest problemem. Występują jednak kolektory z tworzyw sztucznych wyglądające z zewnątrz jak metalowe. Dla weryfikacji dobrze jest zajrzeć również do wnętrza kolektora dolotowego.



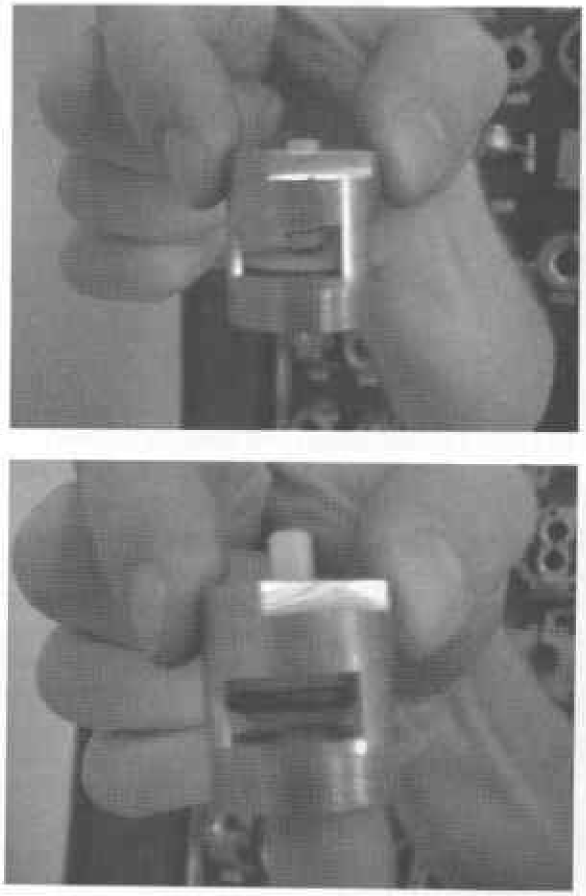


Fot. 6.7. Kolektory dolotowe z tworzywa sztucznego o skomplikowanych (zdjęcie górne) i prostych kształtach kanałów dolotowych (zdjęcie dolne) wraz ze swoimi zamiennikami metalowymi

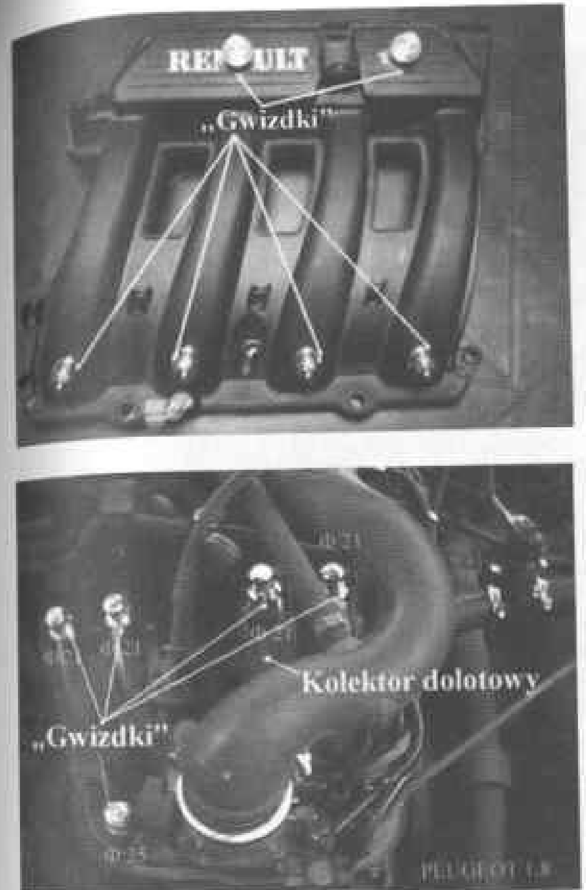
ranych przez nadciśnienie w układzie dolotowym w czasie strzału, a zamykanych przez sprężynę podczas normalnej pracy silnika.

Na fot. 6.8 pokazano zawór odciążający nazywany „gwizdkiem". Grzybek zaworu dociskany jest do gniazda przez sprężynę, której charakterystyka jest tak dobrana, żeby w normalnych warunkach pracy silnika i panującym w układzie dolotowym podciśnieniu, zawór był zamknięty. W momencie wystąpienia „strzału", w układzie wzrasta ciśnienie, które pokonuje siłę sprężyny, powodując otwarcie zaworu i zmniejszenie ciśnienia w układzie dolotowym. Sytuacja ta pokazana jest na zdjęciu dolnym, gdzie ciśnienie zastąpiono naciskiem palca.

Rozmieszczenie jak również montaż „gwizdków" wymaga doświadczenia. Obserwacja samochodów w eksploatacji prowadzona przez firmę Polgas doprowadziła do wniosku, że miejsce oraz sposób zamontowania zaworów odciążających mają duże znaczenie dla jakości zabezpieczenia kolektorów. Zawory odciążające



Fot. 6.8. Zawór odciążający, popularnie zwany „gwizdkiem”, w pozycji zamkniętej (zdjęcie górne) oraz w pozycji otwartej (zdjęcie dolne)



Fot. 6.9. Położenie zaworów odciążających w kolektorach dolotowych z tworzywa sztucznego

nie powinny być wklejane do wywierconych w kolektorze otworów, lecz wkręcone na klej w nagwintowane otwory.

„Gwizdki” są montowane w każdym odgałęzieniu kolektora dolotowego, możliwie blisko połączenia z głowicą oraz w rejonie połączenia odgałęzień kolektora dolotowego, co przedstawiono na fot. 6.9.

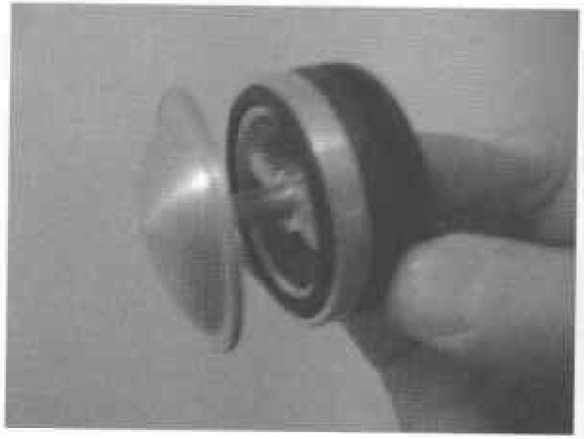
Zaletą „gwizdków” jest łatwość montażu w dowolnym punkcie kolektora, nawet w niewielkiej odległości od głowicy, co pozwala na stosunkowo wczesną reakcję na wzrost ciśnienia. Innym rozwiązaniem jest montowanie zaworów o większych wymiarach. Nazywane „grzybkami” zawory mają o wiele większe wymiary niż „gwizdki”, a zatem i większe możliwości upustu ciśnienia. Do ich montażu niezbędna jest jednak dość duża płaska powierzchnia (fot. 6.10). Zasada działania jest identyczna jak „gwizdka”, różnica jest jedynie w wymiarach.

Zawory tego typu są używane do zabezpieczania kolektorów dolotowych, jak również filtrów powietrza (fot. 6.11).

Jeżeli filtr powietrza jest połączony z kolektorem dolotowym odcinkiem przewodu, który przebiega w poziomie, możliwe jest zastosowanie klapki antystrzałowej (fot. 6.12). Urządzenie jest montowane tak, aby klapka była umieszczona zawiasem do góry, a przepływ powietrza powodował jej otwieranie. W przypadku wystąpienia „strzału”, fala ciśnienia wywołuje przepływ powietrza w drugą stronę, powodując zamknięcie się klapki i spiętrzenie ciśnienia na zamkniętej klapce. W obudowie urządzenia umieszczone są otwory nakryte gumową uszczelką, która w przypadku wystąpienia nadciśnienia odkrywa otwory i działa jak zawór odciążający.

Zabezpieczenie przeciwstrzałowe ma za zadanie ograniczenie maksymalnego ciśnienia w elementach układu dolotowego w czasie „strzału” (fot. 6.13). Działanie elementów polega na możliwie szybkim zmniejszeniu ciśnienia w czasie „strzału” bądź ograniczeniu zasięgu rozprzestrzeniania się fali ciśnienia (klapka antystrzałowa).





Fot. 6.10. Zawór odciążający, popularnie zwany „grzybkiem”, w pozycji zamkniętej (zdjęcie górne) oraz w pozycji otwartej (zdjęcie dolne)

Zdania o działaniu zabezpieczeń są podzielone. Istnieją opinie, że wiercenie otworów w kolektorze dolotowym wykonanym z tworzywa sztucznego w celu osadzenia „gwizdków” osłabia go, na co wskazuje spotykane w praktyce wyrywanie ich z materiału kolektora. Z drugiej strony zwolennicy tego rozwiązania argumentują, że istotny jest sposób montażu, a działanie zaworów odciążających i ograniczenie ciśnienia jest wystarczające do ochrony kolektora.

Klapki antystrzałowe ograniczają wzrost ciśnienia za klapką, natomiast zwiększają ciśnienie przed nią. Montaż powinna poprzedzić analiza potencjalnych strat i zysków.

Należy wspomnieć, że zawory odciążające muszą być szczelne! Jeżeli nie są, to same mogą być przyczyną zubożenia mieszanki i wystąpienia strzału.

Montaż dorabianych kolektorów metalowych rozwiązuje problem ochrony kolektora. Należy jednak pamiętać, że ciśnienie rozchodzi się w całej objętości układu dolotowego, a uszkodzenie następuje w najsłabszym miejscu. W związku z tym za-



Fot. 6.11. Zawór odciążający (tzw. „grzybek”) zamontowany w pokrywie filtra powietrza

dziwiającą niekonsekwencją jest często spotykany brak zaworów odciążających w dorabianym kolektorze metalowym, nawet w przypadku jeżeli do kolektora jest montowany filtr powietrza wykonany z tworzywa sztucznego. Jeżeli ciśnienie nie znajdzie ujścia w kolektorze, to zwiększy prawdopodobieństwo uszkodzenia filtra powietrza.

Skutki „strzałów” – uszkodzenia

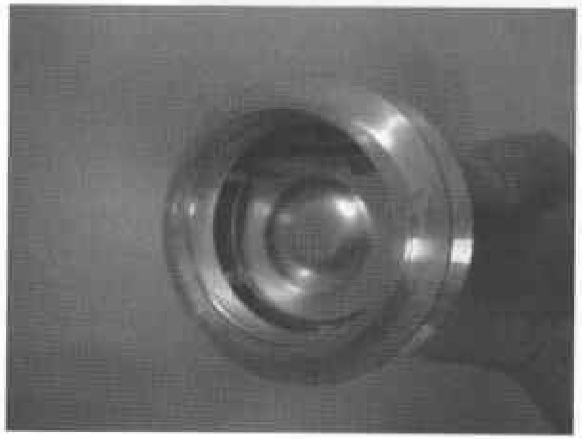
Zapalenie się mieszanki palnej w układzie dolotowym powoduje w nim wzrost ciśnienia. Uszkodzeniu ulegają najsłabsze elementy tego układu. Na fot. 6.14 do 6.17 pokazane są jedne z najczęściej spotykanych uszkodzeń wynikłych z wystąpienia zjawiska strzału.

Silniki gaźnikowe

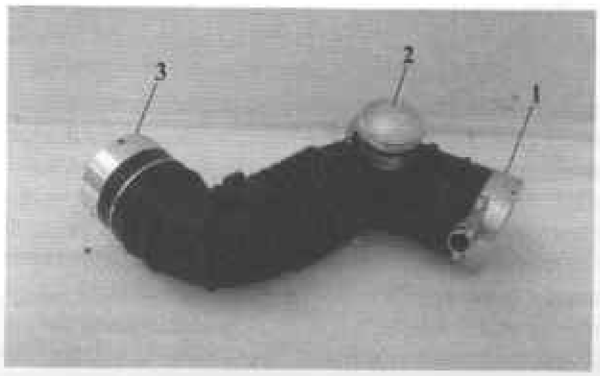
Kolektory dolotowe wykonane z metalu oraz przepustnice są dostosowane konstrukcyjnie do wystąpienia zjawiska „strzału” i znoszą je bez szwanku. Najsłabszym elementem jest filtr powietrza. Zniszczeniu ulegają przede wszystkim pokrywy filtrów i ich mocowanie (zapinki). Typowym uszkodzeniem bardzo silnego strzału jest wywinięcie się pokrywy filtra powietrza w samochodzie Polonez lub Fiat 125p (FSO 1500).

W przypadku zniszczenia typowego filtra powietrza zakup części używanej nie jest problemem ani finansowym, ani organizacyjnym. Przeważnie strzał nie powoduje znacznych zniszczeń ani strat finansowych.





Fot. 6.12. Klapka antystrzałowa w trakcie normalnej pracy silnika (zdjęcie górne) i w momencie „strzału" (zdjęcie dolne)



Fot. 6.13. Przygotowana do montażu rura łącząca zespół przepustnicy z obudową filtra powietrza według technologii firmy Landi Renzo Polska
1 – mieszalnik, 2 – grzybek antystrzałowy w miejscu po tłumiku szmerów ssania, 3 – klapka antystrzałowa



Fot. 6.14. Typowe uszkodzenie pokrywy filtra powietrza

Silniki z wtryskiem jednopunktowym

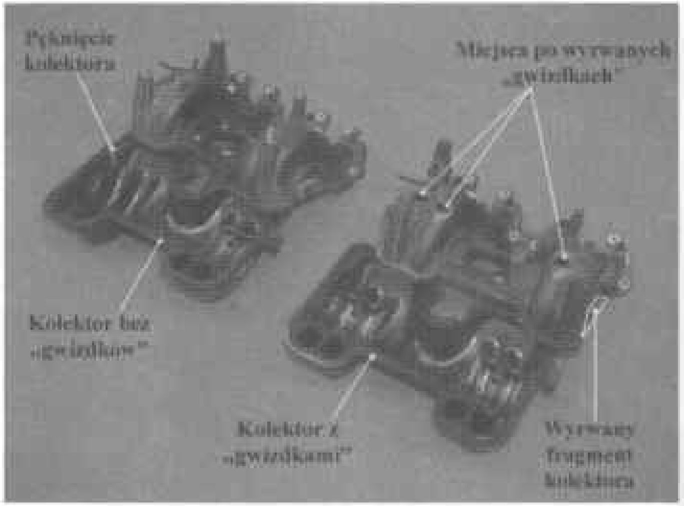
Kolektory i przepustnice są wykonywane z metalu, zatem mają wystarczającą wytrzymałość mechaniczną. Jedynym problemem nie występującym w silnikach gaźnikowych są wrażliwe na uszkodzenia elementy pomiarowe układu wtryskowego.

Silniki z wtryskiem wielopunktowym

Dla silników modeli samochodów z końca lat osiemdziesiątych i początku dziewięćdziesiątych oraz samochodów o prostych rozwiązaniach konstrukcyjnych układu wtryskowego, „strzał" nie stanowi większego problemu niż w przypadku samochodów z wtryskiem jednopunktowym.

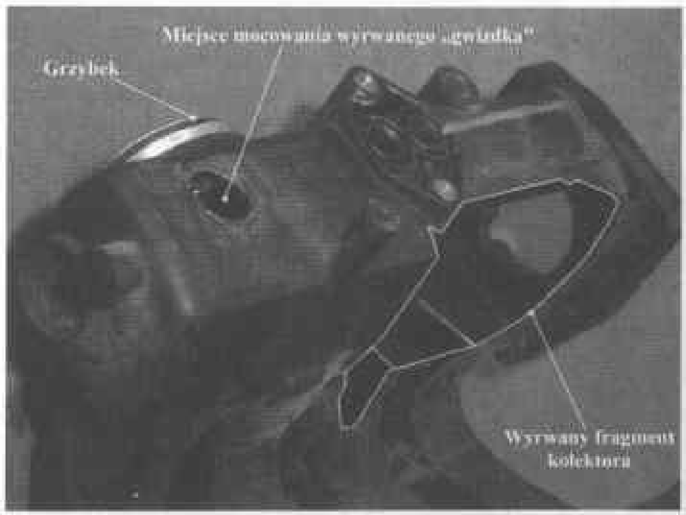


Fot. 6.15. Wyrwane mocowanie pokrywy z obudowy filtra powietrza



Fot. 6.16. Dwa tego samego typu kolektory dolotowe z tworzywa sztucznego, rozerwane w ten sam sposób. Kolektor z lewej strony nie miał żadnych zabezpieczeń przeciwstrzałowych. Kolektor z prawej strony był wyposażony w ochronę przeciwstrzałową. „Gwizdki" zostały wyrwane

Im silnik bardziej nowoczesny, skomplikowany, a układ dolotowy wyposażony w dużą ilość elementów z tworzyw sztucznych, tym następstwa „strzału" mogą być dotkliwsze. Kolektor dolotowy często wykonany z tworzyw sztucznych nie jest



Fot. 6.17. „Strzał" wyrwał część kolektora dolotowego pomimo zastosowania zabezpieczeń. „Gwizdek" został wyrwany, „grzybek" nadal sprawny

dostosowany do występowania zjawiska „strzału" – występują przypadki rozerwania kolektora, zniszczenia całego układu dolotowego, włączając w to elementy pomiarowe układu wtrysku benzyny oraz filtra powietrza.

Energia wyzwalana podczas „strzału" jest zależna od ilości zapalonego paliwa, a zatem od pojemności układu dolotowego. Wprowadzenie do produkcji silników wyposażonych w kolektory dolotowe o zmiennej długości, spowodowało zwiększanie pojemności zagrożonych cofnięciem się płomienia. Innym skutkiem „strzału" występującym w przypadku silnika o zmiennej długości kanałów dolotowych może być oderwanie części ruchomych kolektorów (przesłon kanałów) i zassanie ich do silnika.

W przypadku wystąpienia „strzału" w silniku o skomplikowanej budowie układu dolotowego, z urządzeniami pomiarowymi o delikatnej konstrukcji, koszty napraw po „strzale" mogą przekroczyć wartość zakupu i montażu układu zasilania LPG.

W przypadku montażu mieszalnikowych układów zasilania LPG (czyli I i II generacji), nie można dać gwarancji na to, że strzał nie wystąpi. Jeździ wprawdzie wiele samochodów, które są zaniedbane pod względem technicznym, bez wykonywanych regulacji ani przeglądów, a „strzały" w gaźnik nie występują. Na wystąpienie tego zjawiska przeważnie składa się kilka okoliczności. Po wystąpieniu zniszczeń w układzie dolotowym silnika ustalenie przyczyny powstania warunków sprzyjających cofnięciu się płomienia nie jest łatwe, a niekiedy nawet niemożliwe. Może być nią rozregulowanie się układu LPG, uszkodzenie świecy zapłonowej, jak również niestarannie założona pokrywa filtra powietrza, a nawet uszkodzenie zderzaka lub osłon komory silnika.

Układy zasilania LPG I i II generacji są dość prymitywne pod względem zapewnienia stabilności składu mieszanki, zwłaszcza w nieustalonych stanach pracy silnika. Montaż układu mieszalnikowego niesie realne ryzyko wystąpienia „strzału", niezależnie od wysiłków zakładu montującego instalację LPG, jak i właściciela pojazdu.

Po „strzale"

Wystąpienie „strzału" powoduje spalenie mieszanki palnej przygotowanej w układzie dolotowym. Silnik zamiast mieszanki palnej zasysa spaliny, co powoduje przerwę w dostarczaniu mieszanki i w następstwie często zgaśnięcie silnika.

Nie każdy „strzał" prowadzi do zniszczeń w układzie dolotowym. Konsekwencje zależą od wielu czynników, takich jak skład mieszanki palnej w układzie dolotowym, stopień otwarcia przepustnicy, działanie zabezpieczeń przeciwstrzałowych, jak również od konstrukcji układu dolotowego. Nie należy jednak bagatelizować „strzałów" słyszalnych jako drobne „pyknięcia". Sygnalizują one niesprawność silnika lub układu zasilania LPG. Zasadą jest, że po wystąpieniu tego zjawiska należy przełączyć zasilanie na benzynę do czasu wizyty w warsztacie.

6.12.2. Przekroczenie maksymalnej dopuszczalnej prędkości obrotowej silnika

Układy zasilania LPG I generacji i duża część II generacji nie mają ograniczników prędkości obrotowej. Wraz ze wzrostem prędkości obrotowej silnika rosną siły bezwładności w układzie korbowo-tłokowym. Silnik samochodowy jest przystosowany do pracy w określonym zakresie prędkości obrotowej. Silniki wyposażone w elektronicznie sterowany wtrysk benzyny mają wbudowany ogranicznik prędkości obrotowej, który wytwarza dawkowanie benzyny. W czasie zasilania LPG przez układy nie mające ogranicznika prędkości obrotowej, istnieje możliwość przekraczania prędkości obrotowej, której nie daje się przekroczyć przy zasilaniu benzyną. Przekroczenie maksymalnej prędkości obrotowej może być przyczyną zmniejszenia trwałości układu tłokowo-korbowego, a później nawet awarii silnika.

6.12.3. Zubożenie lub wzbogacenie mieszanki

Zubożenie mieszanki

Dużym niebezpieczeństwem dla silnika jest możliwość pracy przy zasilaniu bardzo zubożoną mieszanką LPG-powietrze. Prędkość spalania spada do tego stopnia, że spalanie rozciąga się aż na suw wylotu. Sprawność silnika spada, co wymaga zwiększenia dawki paliwa dla zachowania stałej mocy. Powoduje to zwiększone nagrzewanie głowicy oraz zaworów, co może doprowadzić do ich uszkodzenia. Identyczne zjawisko występuje, jeżeli silnik jest zasilany benzyną, a skład mieszanki jest bardzo ubogi. Stąd powiedzenie, że „silnik pali albo paliwo, albo zawory". Do uszkodzeń dochodzi najczęściej podczas jazdy samochodem z dużymi prędkościami.

Wzbogacenie mieszanki

Nadmierne wzbogacenie mieszanki ma dużo mniejszy wpływ na trwałość silnika niż jego praca na mieszance ubogiej. Przyspiesza jednak zużywanie się reaktora katalitycznego (katalizatora). Węglowodory wpływające do reaktora są w nim utleniane, a reakcja ta powoduje wydzielanie się ciepła. Reaktor przegrzany powyżej normalnej temperatury pracy szybko traci swoje właściwości.

Prawidłowo działający układ LPG nie powoduje zmniejszenia trwałości silnika samochodu. Jedynymi elementami wymagającymi częstszej obsługi są zawory oraz układ zapłonowy.

Eksploatacja samochodów wyposażonych w układ zasilania LPG dowodzi, że silniki starszych generacji, wprowadzane do samochodów w czasach silników gaźnikowych, a następnie adaptowane do zasilania za pomocą wtrysku benzyny, niewysilone, są lepiej przystosowane do współpracy z układami LPG, szczególnie I i II generacji. Nowoczesne silniki są projektowane do współpracy z układami zasilania o daleko większej precyzji działania i dla zachowania trwałości wymagają precyzyjniejszej regulacji składu mieszanki, którą zapewniają układy LPG III i IV generacji.

6.12.4. Uszkodzenia reduktora

Najdelikatniejszym elementem układu zasilania LPG jest reduktor. Konstrukcja reduktora nie jest skomplikowana, lecz szczególnie narażonym na uszkodzenia elementem jest przepona II stopnia regulacji ciśnienia reduktora. Wykonana jest ona z cienkiego podatnego materiału, który podlega starzeniu. Nowa przepona w dotyku przypomina cienki, delikatny materiał, natomiast z czasem następuje jej twardnienie (w skrajnych przypadkach w dotyku przypomina blachę). Zmiana sztywności przepony na skutek jej starzenia powoduje zmianę charakterystyki reduktora. Jest to szczególnie odczuwalne, gdy reduktor nie jest nagrzany.

Paliwo LPG zawiera ciężkie węglowodory, które zalegają w komorze II stopnia regulacji ciśnienia. Występują jako ciecz o oleistej konsystencji, którą należy okresowo usuwać z reduktora przez otwór spustowy. Zdarza się, że długo nie spuszczany kondensat osiada na przeponie II stopnia regulacji, tworząc grubą warstwę substancji z wyglądu podobnej do budyniu. Zwiększenie masy przepony przyczynia się również do zmiany charakterystyki reduktora, szczególnie w nieustalonych warunkach pracy silnika.

Zdarza się sporadycznie, że reduktor wykazuje nieszczelności między przestrzenią cieczową a komorami zawierającymi LPG. Powoduje to przenikanie LPG w fazie gazowej do układu chłodzenia silnika, wywołując takie same objawy jak przy uszkodzeniu uszczelki głowicy.

Naprawa reduktora

Warsztaty z reguły wymieniają reduktory, ponieważ koszt nowego reduktora nie jest wysoki, a naprawa nie zawsze daje zadowalające rezultaty. Naprawom podlegają reduktory o prostej konstrukcji, są jednak reduktory, których nie remontują nawet autoryzowane zakłady. Naprawa polega na rozmontowaniu reduktora, oczyszczeniu części, ocenie wzrokowej stanu gniazd, zaworów i wymianie przepon.

6.13. Bezpieczeństwo użytkowania samochodów wyposażonych w układy zasilania LPG

Jednym z najważniejszych problemów związanych z użytkowaniem wszystkich urządzeń, jest bezpieczeństwo eksploatacji. Nie inaczej jest z eksploatacją układów zasilania LPG w samochodach. Obawa przed wożeniem w samochodzie „butli gazowej" jest dla wielu osób wystarczającą przyczyną do rezygnacji ze stosowania tego paliwa.

Każde urządzenie, zwłaszcza takie, które magazynuje w sobie duże ilości energii, jest potencjalnym zagrożeniem. Jeżeli nawet nie w pojedynkę, to w połączeniu z zespołem innych urządzeń i zdarzeń losowych ich dotyczących. Samochód nie jest najbezpieczniejszym miejscem przebywania człowieka, do czego wszyscy zdążyliśmy się już przyzwyczaić, i z reguły statystyki wypadków nie robią już na większości z nas wrażenia. Instalacja gazowa nie jest czynnikiem w istotny sposób zwiększającym zagrożenie człowieka, pod warunkiem przestrzegania elementarnych zasad bezpieczeństwa.

Podstawowym zaleceniem jest – tak jak i przy zasilaniu benzyną – nie dokonywanie żadnych zmian lub przeróbek w układzie zasilania LPG.

Elementem traktowanym jako „bomba" jest zbiornik paliwa gazowego, popularnie nazywany butlą gazową. Podstawową zasadą jest tankowanie nie więcej niż 80% objętości oraz nie dokonywanie żadnych przeróbek w zbiorniku i w jego wyposażeniu.

Przestrzeganie powyższych zasad oraz montaż układu LPG zgodnie z obowiązującymi przepisami wystarcza do zapewnienia bezpieczeństwa w normalnych warunkach eksploatacji.

6.13.1. Nieszczelności

W przypadku wystąpienia nieszczelności układu zasilania gazem propan-butan, użytkownik ostrzegany jest przez mocny, charakterystyczny zapach. Intensywność wyczuwania zapachów jest cechą charakterystyczną człowieka, a ponadto zmienia się w czasie. Zapach paliwa LPG jest wynikiem dodania do niego tzw. nawaniacza. Zgodnie z wymaganiami normy, zapach powinien być wyraźny i nieprzyjemny. Eksploatując samochód wyposażony w układ LPG można wyczuć ten zapach. Jego źródłem jest komora silnika, do której po zatrzymaniu się silnika pracującego przy zasilaniu LPG wpływa niewielka ilość paliwa.

Jeżeli intensywny zapach LPG jest wyczuwalny mocniej niż zwykle, to należy zakręcić dwa zawory odcinające na zbiorniku paliwa gazowego. Niepokojące jest wyczucie zapachu obok samochodu znajdującego się na otwartej przestrzeni bądź w pobliżu zbiornika paliwa gazowego. Sam zapach nie dowodzi wystąpienia nieszczelności, lecz stanowi sygnał o konieczności jej weryfikacji.

6.13.2. Garażowanie w zamkniętych pomieszczeniach

Układ zasilania LPG powinien być całkowicie hermetyczny. W niektórych krajach można jednak napotkać informacje zabraniające korzystania przez samochody wyposażone w układy LPG z garaży podziemnych lub parkingów. Wynika to z właściwości LPG, który w razie nieszczelności wpływa do najniżej położonych miejsc, czyli na przykład kanalizacji i tam przez długi czas zalega. W razie wystąpienia wątpliwości co do szczelności układu zasilania LPG sugeruje się wypchnięcie samochodu z garażu, a szczególnie z garażu z kanałem, bez uruchamiania silnika. W takim przypadku należy przeprowadzić weryfikację szczelności układu LPG.

6.13.3. Mechaniczne uszkodzenia układu zasilania LPG

Poruszanie się samochodem po drogach stwarza niestety zagrożenie uczestniczenia w wypadku drogowym. Na jego skutek układ zasilania LPG może ulec uszkodzeniu. Elementem układu, który – ze względu na miejsce montażu – jest najbardziej narażony na uszkodzenie, jest zawór tankowania i przewód łączący go z wielozaworem. W przypadku utraty szczelności połączeń tych elementów lub nawet ich zniszczenia, nastąpi zablokowanie wypływu gazu ze zbiornika przez zawór zwrotny, który

ry stanowi część wielozaworu. W takim przypadku może wystąpić jedynie wypływ niewielkiej ilości gazu, która znajduje się w przewodzie.

Drugim zagrożeniem jest uszkodzenie zbiornika paliwa gazowego. Utrata przez niego szczelności może spowodować duże niebezpieczeństwo. Jednak uszkodzenie podczas wypadku ścianek zbiornika paliwa gazowego wykonanego ze stali nie jest w praktyce możliwe. Stalowe ścianki kilkumilimetrowej grubości oraz kształt, nadają zbiornikowi wytrzymałość umożliwiającą „przepchnięcie" go praktycznie przez każdy samochód osobowy. Nawet w tak poważnym wypadku, którego skutki przedstawiają fotografie 6.18, zbiornik poza otarciami farby nie nosił żadnych śladów uszkodzenia, pomimo tego że bagażnik, w którym był on zamocowany, po wypadku „zniknął".

Innym niebezpieczeństwem w trakcie wypadku jest wyrwanie zbiornika z mocowania. Żeby je zminimalizować, organy ustawodawcze wprowadziły zapis dotyczący wytrzymałości mocowania zbiornika. Mówi on, że mocowanie zbiornika powinno wytrzymać nawet wtedy, gdy jest on poddany przyspieszeniu równemu



Fot. 6.18. Samochód wyposażony w układ zasilania LPG po wypadku

20 g (20-krotność przyspieszenia ziemskiego) przy uderzeniu z przodu lub z tyłu oraz 8 g przy uderzeniu bocznym. Jak łatwo obliczyć, dla zbiornika z gazem o masie 50 kg siła bezwładności osiąga 1000 kG. Jest to z reguły wystarczające zabezpieczenie, jednak życie pisze scenariusze, które trudno ująć w sztywne ramy przepisu, co wyraźnie widać na zamieszczonych fotografiach (fot. 6.18). Ten zbiornik na pewno nie znajduje się w miejscu swojego mocowania. Mimo to instalacja gazowa zachowała po wypadku szczelność.

Następnym elementem układu LPG, który może ulec uszkodzeniu, jest wielozawór. Prawdopodobieństwo uszkodzenia zależy od miejsca zamocowania elementu. Wielozawory umieszczone wewnątrz zbiorników toroidalnych są znakomicie zabezpieczone przed zniszczeniem. Najbardziej narażone na uderzenia są wielozawory zbiorników montowanych pod płytą podłogową samochodu. W takim przypadku uszkodzenie wielozaworu może nastąpić nie tylko na skutek wypadku, ale również w trakcie codziennej eksploatacji.

Spowodowanie nieszczelności przez utrącenie wielozaworu jest mało prawdopodobne. Wielozawór umieszczony jest w kołnierzu spawanym do zbiornika paliwa gazowego. Urwanie zaworów odcinających bądź zgniecenie wskaźnika poziomu paliwa nie powoduje wypływu gazu.

Przewody miedziane łatwo jest zniszczyć podczas kolizji przez zgniecenie bądź załamanie. Nie powoduje to jednak przeważnie utraty ich szczelności. Na przewodach miedzianych należy w trakcie montażu wykonać pętle kompensacyjne, które oprócz zmniejszania naprężeń w połączeniach elementów układu LPG umożliwiają ich przemieszczanie się względem siebie spowodowane deformacjami samochodu, dzięki czemu zmniejszane jest ryzyko zerwania przewodu.

Na foto. 6.19 przedstawiono zawór tankowania z przewodem miedzianym zniszczonym w wypadku drogowym. Przewód miedziany nie został rozerwany, pomimo że podczas montażu nie wykonano pętli kompensacyjnych.

Jeżeli przewód miedziany zostanie rozerwany na odcinku między zbiornikiem paliwa gazowego a urządzeniami, które zasila, to:



Fot. 6.19. Widok zaworu tankowania i przewodu miedzianego w samochodzie po wypadku

- w przypadku, gdy wielozawór został wykonany według wersji podstawowej Regulaminu 67 EKG ONZ, zadziała zawór ograniczający wypływ do 1 dm³/min;
- w przypadku, gdy wielozawór został wykonany według Regulaminu 67 EKG ONZ, seria 01 poprawek, wypływ gazu ze zbiornika po zgaśnięciu silnika zostanie wstrzymany przez zawór elektromagnetyczny umieszczony przy zbiorniku paliwa.

Jeżeli uszkodzeniu ulegną elementy wykonawcze za zaworem odcinającym, to wypływ LPG ze zbiornika paliwa gazowego jest odcinany przez ten zawór w przypadku zatrzymania silnika, wyłączenia zapłonu lub przełączenia na zasilanie benzyną.

Jeżeli silnik spalinowy zatrzymuje się z jakiegokolwiek powodu (na przykład zgasł „na biegu" przy ruszaniu) to, pomimo pozostawienia kluczyka w stacyjce w położeniu jak do jazdy, zostaje zamknięty zawór lub zawory odcinające LPG.

Przy uszkodzeniu instalacji elektrycznej i spowodowanym tym braku zasilania sterownika układu zasilania LPG, zostają uruchomione wszystkie zawory odcinające w układzie LPG, a w zaawansowanych układach wtrysku LPG następuje przełączenie zasilania na benzynę. W przypadku silników gaźnikowych brak zasilania powoduje również zamknięcie zaworu odcinającego dopływ benzyny do gaźnika. Uszkodzenie przewodu elektrycznego zaworów odcinających LPG powoduje ich zamknięcie.

Jak widać z opisu, w układach LPG wykonanych według wersji podstawowej Regulaminu 67 EKG ONZ, najniebezpieczniejszym uszkodzeniem jest uszkodzenie przewodu łączącego zbiornik paliwa gazowego z reduktorem. Wada ta została usunięta przez wprowadzenie w Regulaminie 67 EKG ONZ, seria 01 poprawek, zapisu mówiącego o obowiązku wyposażania układu LPG w zawór odcinający umieszczony na zbiorniku LPG.

Reasumując, układy zasilania LPG zostały dobrze zabezpieczone przed wypływem gazu ze zbiornika na skutek uszkodzenia lub zniszczenia elementów układu. Dowiodły one nie raz swojej dużej odporności na uszkodzenia mechaniczne, jak również skuteczności zabezpieczeń przed wypływem paliwa LPG.

6.13.4. Pożar samochodu

Pożar samochodu nie jest często spotykanym zdarzeniem, lecz nie można całkowicie wykluczyć jego wystąpienia. Sam układ zasilania LPG niesie minimalne ryzyko powstania pożaru. Jest on hermetyczny, w dużym stopniu odporny na uszkodzenia mechaniczne, a ilość paliwa zawarta w urządzeniach wykonawczych jest niewielka.

W większości przypadków pożar samochodu jest spowodowany wystąpieniem zwarcia w instalacji elektrycznej. Mogą wystąpić jednak i inne przyczyny, między innymi „zamrożenie" reduktora oraz usterki układu zasilania benzyną. „Zamrożenie" reduktora powoduje ograniczenie odparowania LPG w I stopniu i jego

wypływ z reduktora częściowo w fazie ciekłej. Powoduje to wzbogacenie mieszanki paliwowo-powietrznej w stopniu prowadzącym do zatrzymania pracy silnika. W wyniku tego zostaje odcięty dopływ LPG do reduktora na skutek zamknięcia elektrozaworu, natomiast znajdujące się w reduktorze paliwo LPG przechodzi w stan gazowy w II stopniu reduktora oraz w przewodzie doprowadzającym paliwo LPG do silnika. To doprowadza do pojawienia się dużej ilość paliwa LPG w układzie dolotowym. Jego nadmiar może wypłynąć do komory silnika. W tych warunkach próba uruchomienia silnika może spowodować zapalenie się gazu na skutek wystąpienia tzw. zjawiska cofnięcia płomienia. Inną przyczyną mogącą doprowadzić do pożaru może być zaniedbanie układu zasilania benzyną. Urządzenia starzeją się i tracą szczelność. Jeżeli samochód eksploatuje się, nie korzystając z zasilania benzyną (jest to szczególnie popularne w samochodach z silnikami gaźnikowymi eksploatowanymi w okresie letnim), to właściciel pojazdu nie jest w stanie zauważyć objawów sygnalizujących uszkodzenie układu zasilania benzyną, takich jak na przykład sparciałe przewody paliwowe lub uszkodzone przepony pompek przyspieszających, które to uszkodzenia mogą powodować wyciek benzyny na gorący silnik. Nie zauważy tego z prostej przyczyny – w gaźniku nie ma benzyny podczas zasilania silnika LPG, w związku z tym nie ma śladów wycieków. Jeżeli przy nieszczelnej instalacji benzynowej użytkownik przełączy zasilanie na benzynę, może tym doprowadzić do zapalenia się samochodu.

Pożar stojącego samochodu w początkowej fazie przebiega spokojnie. Ogień tli się długi czas, a dopiero po osiągnięciu odpowiednio wysokiej temperatury, stopniowo rozprzestrzenia się na inne elementy pojazdu. Dlatego też w początkowej fazie pożar samochodu jest możliwy do opanowania. W tym celu wozimy (lub przynajmniej jesteśmy zobowiązani wozić) gaśnicę, która może pomóc opanować ogień w pierwszych minutach pożaru.

Zbiorniki paliwa montowane są z reguły z tyłu samochodu, natomiast ogień pojawia się przeważnie w komorze silnika. W przypadku rozprzestrzenienia się ognia na zbiornik paliwa następuje jego nagrzewanie. Niezależnie od paliwa użytego do zasilania silnika pojazdu, zbiornik jest pożywką dla pożaru. W samochodzie przystosowanym do zasilania LPG występują dwa zbiorniki paliwa: z benzyną i z paliwem LPG.

Zbiornik benzyny jest najbardziej niebezpieczny, jeżeli jest w nim niewielka ilość paliwa. W tym przypadku, gdy pożar ogarnie zbiornik benzyny następuje gwałtowne ogrzewanie paliwa i powietrza w zbiorniku. Powietrze, wraz z oparami benzyny, która w tych warunkach intensywnie paruje, zwiększa swoją temperaturę, a ponieważ nie ma którędy ujść ze zbiornika, powoduje w nim szybki przyrost ciśnienia. To może doprowadzić do jego rozerwania i rozlania się wokół samochodu płonącej benzyny. Zbiornik wypełniony benzyną pali się spokojniej i mniejsze jest prawdopodobieństwo jego rozerwania, lecz benzyna paląc się powoduje nagrzewanie zbiornika paliwa gazowego. W ogarniętym przez płomienie zbiorniku LPG następuje wzrost temperatury, a ponieważ jest to zbiornik hermetyczny, również ciśnienia.

Dlatego też, w celu zapobieżenia nadmiernemu wzrostowi ciśnienia w zbiorniku LPG, jest on obligatoryjnie wyposażony w zawór bezpieczeństwa. Dotyczy to zbiorników klasy „A" homologowanych według Regulaminu 67 EKG ONZ oraz wszystkich zbiorników paliwa gazowego homologowanych według Regulaminu 67 EKG ONZ, seria 01 poprawek. Wymaganie to nie dotyczy zbiorników paliwa gazowego klasy „B", homologowanych według Regulaminu 67 EKG ONZ. Otwieranie się zaworu bezpieczeństwa ogranicza ciśnienie panujące wewnątrz do wartości około 240 kPa, przez upust LPG na zewnątrz zbiornika.

Dla sprawdzenia poprawności praktycznego działania zabezpieczeń, producenci oraz instytucje konsumenckie i rządowe przeprowadzają testy bezpieczeństwa. Jednym z takich testów jest rejestracja przebiegu procesu palenia się samochodu wyposażonego w układ zasilania LPG. W prezentowanym poniżej doświadczeniu zbadano przebieg palenia się czterech samochodów o różnej kompletacji wyposażenia zbiornika paliwa gazowego (tabela 6.1).

Tabela 6.1

Podstawowe dane techniczne układów LPG w samochodach poddanych próbie palenia [13]

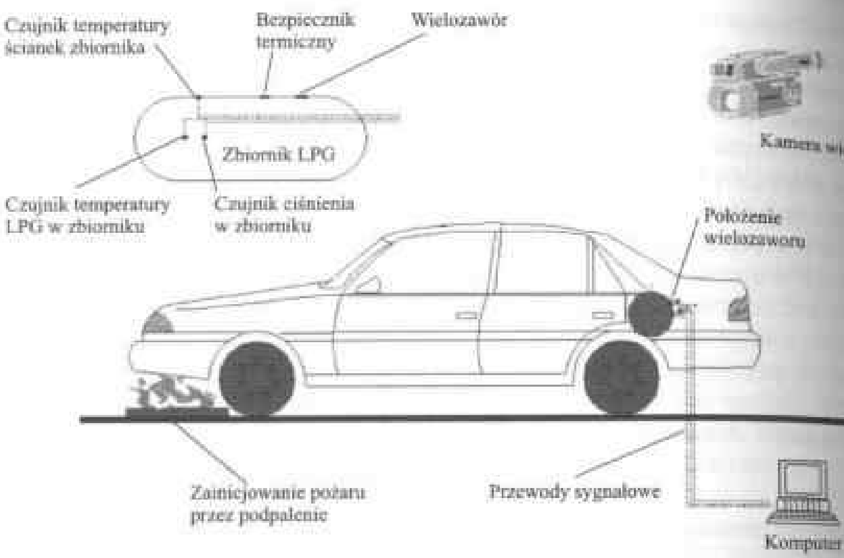
Pojazd	Fiat Uno	Fiat Regata	Lancia Prisma	Fiat Regata
Oznaczenie pojazdu	1	2	3	4
Klasa zbiornika	A	B	A	A
Pojemność wodna zbiornika LPG [dm^3]	45	60		
Pojemność użytkowa (80%)	36	48		
Ciśnienie otwarcia zaworu bezpieczeństwa [kPa]	2500±200		2700±100	
Bezpiecznik termiczny	nie występuje		110°C	140°C

Doświadczenie przygotowano, wyposażając zbiorniki paliwa gazowego w czujniki temperatury ścianek zbiornika oraz czujniki ciśnienia i temperatury paliwa. Samochody zostały celowo podpalone przez rozniecenie ognia pod silnikiem. Sygnały z czujników rejestrowano w komputerze, a przebieg pożarów nagrano na taśmie wideo (rys. 6.10).

Poniżej zamieszczono krótkie opisy przeprowadzonych doświadczeń.

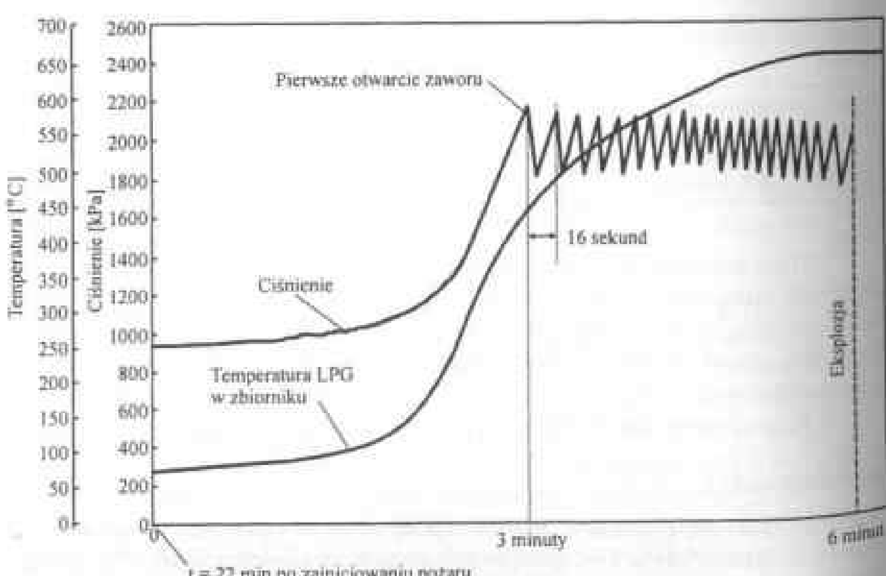
Doświadczenie 1

Samochód palił się 25 minut od momentu podpalenia do czasu pierwszego otwarcia zaworu bezpieczeństwa. Nastąpiło to po osiągnięciu ciśnienia 2200 kPa. Od tego czasu zawór bezpieczeństwa otwierał się wielokrotnie, powodując za każdym razem spadek ciśnienia o ok. 300 kPa. Temperatura zbiornika nadal rosła, a ciśnienie



Rys. 6.10. Schematyczne przedstawienie samochodu przygotowanego do przeprowadzenia doświadczenia [13]

wewnątrz było ograniczane do 2200 kPa. Po osiągnięciu temperatury ok. 650°C nastąpiło rozerwanie zbiornika paliwa gazowego, pomimo prawidłowej, aż do końca, pracy zaworu bezpieczeństwa (rys. 6.11).



Rys. 6.11. Przebieg zmian temperatury LPG oraz ciśnienia w zbiorniku – samochód nr 1 [13]

Doświadczenie II

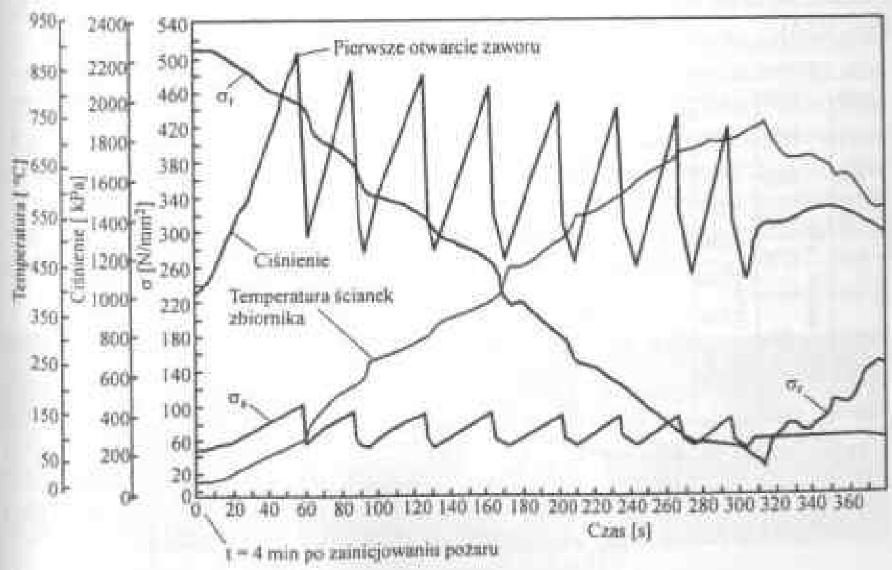
Samochód palił się około 5 minut do czasu pierwszego otwarcia zaworu bezpieczeństwa. Nastąpiło to po osiągnięciu temperatury 150°C mierzonej na ściance zbiornika, przy ciśnieniu ok. 2300 kPa. Od tego czasu zawór bezpieczeństwa otwierał się wielokrotnie, powodując za każdym razem spadek ciśnienia o ok. 1000 kPa, jednocześnie za każdym razem otwarcie zaworu następowało przy niższym ciśnieniu. Zawór bezpieczeństwa został zniszczony po osiągnięciu przez ścianki zbiornika LPG temperatury ok. 700°C i dalej wypływ LPG odbywał się w sposób ciągły. Po opróżnieniu zbiornika LPG samochód palił się nadal, a temperatura ścianek zbiornika paliwa osiągnęła ok. 900°C (rys. 6.12).

Doświadczenie III

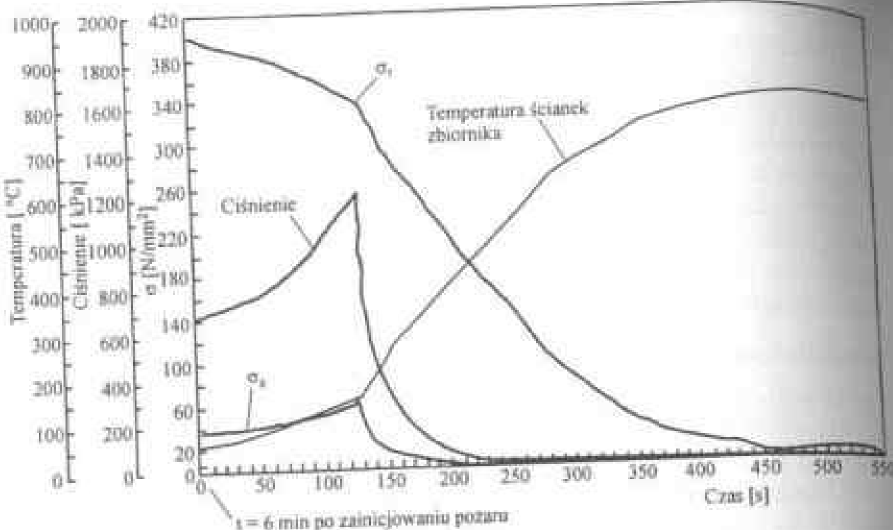
Zawór bezpieczeństwa nie zdążył zadziałać. Po ok. ośmiu minutach od podpalenia samochodu zadziałał bezpiecznik termiczny. Ciśnienie w zbiorniku wzrosło do 1200 kPa, a temperatura ścianki zbiornika osiągnęła wartość ok. 150°C. Po następnych 2 minutach ciśnienie w zbiorniku spadło do wartości poniżej 200 kPa. Temperatura ścianek zbiornika rosła do ok. 950°C (rys. 6.13).

Doświadczenie IV

Zawór bezpieczeństwa nie zdążył zadziałać. Po dziewięciu minutach od podpalenia samochodu ciśnienie w zbiorniku wzrosło do 1200 kPa, a temperatura ścianki zbiornika osiągnęła wartość ok. 180°C. Zadziałanie bezpiecznika termicznego powoduje

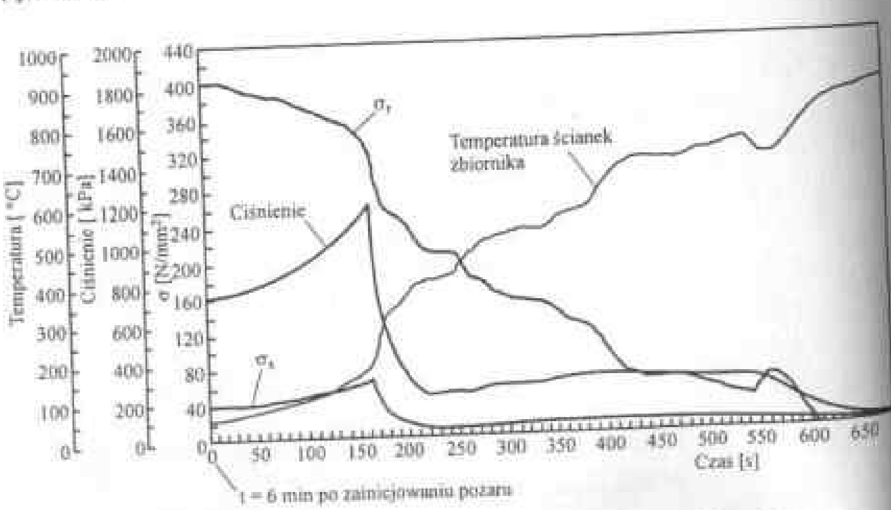


Rys. 6.12. Przebieg zmian temperatury ścianek zbiornika, ciśnienia oraz naprężeń w ściance zbiornika – samochód nr 2 [13]
σ_r – wytrzymałość materiału zbiornika na rozciąganie, σ_s – naprężenie rozciągające w ściance zbiornika



Rys. 6.13. Przebieg zmian temperatury ścianek zbiornika, ciśnienia oraz naprężeń w ściance zbiornika – samochód nr 3 [13]
σ_r – wytrzymałość materiału zbiornika na rozciąganie, σ_s – naprężenie rozciągające w ściance zbiornika

na stałe otwarcie zbiornika paliwa i wypływ paliwa. Po 1 minucie ciśnienie w zbiorniku spadło do wartości ok. 300 kPa i utrzymywało się na tym poziomie przez 5 minut, po czym spadło do zera. Temperatura ścianek zbiornika rosła do ok. 950°C (rys. 6.14).



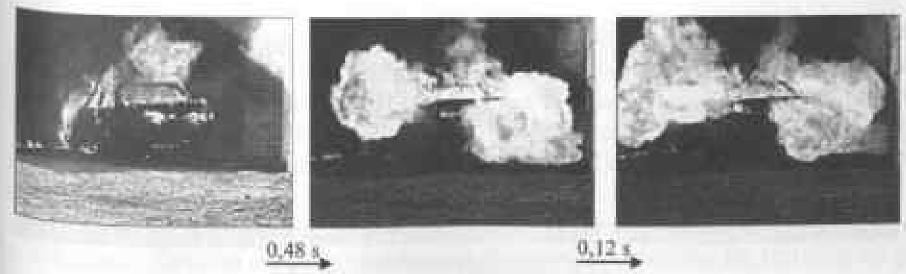
Rys. 6.14. Przebieg zmian temperatury ścianek zbiornika, ciśnienia oraz naprężeń w ściance zbiornika – samochód nr 4 [13]
σ_r – wytrzymałość materiału zbiornika na rozciąganie, σ_s – naprężenie rozciągające w ściance zbiornika

Jeżeli zbiornik paliwa gazowego jest ogarnięty przez płomienie, to temperatura w zbiorniku rośnie, a wraz z nim ciśnienie. Otwarcie zaworu bezpieczeństwa powoduje zmniejszenie się ciśnienia w zbiorniku paliwa gazowego i zamknięcie zaworu. Jeżeli temperatura zbiornika wzrasta nadal, to rosnące ciśnienie znów otwiera zawór bezpieczeństwa. Cykl ten powtarza się do czasu wypalenia się paliwa gazowego ze zbiornika lub do chwili, gdy proces nagrzewania zbiornika paliwa gazowego zostanie zatrzymany – samochód zacznie dogasać lub zostanie schłodzony podczas akcji gaśniczej.

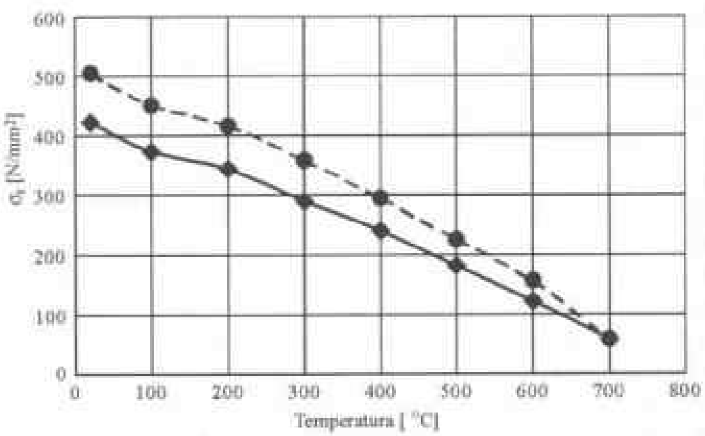
Na wykresie ciśnienia wewnątrz zbiornika paliwa gazowego praca zaworu objawia się przebiegiem ciśnienia w kształcie piły. Szczytowe ciśnienie odpowiada ciśnieniu otwarcia zaworu bezpieczeństwa, natomiast minimum – ciśnieniu po zamknięciu zaworu bezpieczeństwa.

Na fot. 6.20 pokazano kadry z filmu, dokumentującego przebieg pożaru samochodu wyposażonego w układ zasilania LPG. Widać na nich jak działa zawór bezpieczeństwa. Gdy zawór bezpieczeństwa jest zamknięty, płomienie nie wychodzą daleko poza obrys samochodu. Zadziałanie zaworu i związany z tym wypływ LPG ze zbiornika pod znacznym ciśnieniem, powoduje erupcję ognia o kilkumetrowym zasięgu. Moment, w którym rozpoczyna się gwałtowne rozprzestrzenianie się płomieni, jest nieprzewidywalny, zatem zbliżanie się do płonącego samochodu grozi poparzeniem. Zasięg i kierunek wypływu płomieni zależy od miejsca zamontowania elementów, jak również od konstrukcji pokrywy wielozaworu zbiornika paliwa gazowego. Czas, jaki upłynął między kadrami z filmu widocznymi na fotografii 6.20 to ułamki sekund. W takim czasie można się jedynie próbować uchylić, lecz nie uciec poza zasięg płomieni.

Wytrzymałość zbiorników paliwa gazowego, będących zbiornikami ciśnieniowymi, jest szczegółowo badana w procesie konstruowania, uzyskiwania certyfikatów oraz monitorowana w procesie produkcji. Badania wytrzymałościowe zbiorników w procesie homologacji są prowadzone w temperaturach pokojowych. Jednak, jak przedstawiono na rys. 6.15, właściwości wytrzymałościowe stali zmniejszają się wraz ze wzrostem temperatury w sposób liniowy. Podczas pożaru materiał zbiornika może nagrzać się do temperatury ponad 900°C. Po nagrzaniu do 700°C wytrzymałość stali, a zatem ciśnienie rozrywające zbiornik, zmniejsza się aż ośmiokrotnie.



Fot. 6.20. Kadry z filmu obrazujące propagację płomieni w momencie zadziałania zaworu bezpieczeństwa



Rys. 6.15. Przebieg zmian wytrzymałości różnych gatunków stali w funkcji temperatury [13]

Doświadczenie przeprowadzone na samochodzie nr 1 zakończyło się rozerwaniem zbiornika na skutek utraty wytrzymałości materiału. Zniszczenie zbiornika nastąpiło pomimo prawidłowej pracy zaworu bezpieczeństwa, który ograniczał ciśnienie w zbiorniku do 2200 kPa. Jednak spadek wytrzymałości ścianek zbiornika był na tyle duży, że po osiągnięciu temperatury 650°C naprężenia wywołane przez ciśnienie przekroczyły wytrzymałość materiału zbiornika. Rozerwanie spowodowało nagły wypływ paliwa i zapłon zachodzący w całej jego objętości. Na fotografiach 6.21 pokazano kadry z filmu, który został nakręcony w trakcie opisywanego eksperymentu. Czas, jaki upłynął między przedstawionymi kadrami świadczy o prędkości przebiegu tego procesu.

Z przytoczonych badań można wysnuć wniosek, że aby zapobiec niebezpieczeństwu rozerwania zbiornika LPG podczas pożaru, należy umożliwić jego szybkie opróżnienie z paliwa tak, aby cały proces zakończyć jeszcze zanim nastąpi wzrost temperatury ścianek zbiornika i wynikający z tego spadek ich wytrzymałości. Co prawda samochód i w tym przypadku ulegnie spaleniu, jednak zostanie znacznie zmniejszone ryzyko rozerwania zbiornika, które jest znacznie groźniejsze od pożaru. Wybuch jest zjawiskiem przebiegającym bardzo gwałtownie. O sile wybuchu niech świadczy fakt, że w momencie jego wystąpienia kamera, która stała (jak widać na fotografiach) w znacznej odległości od samochodu, została przewrócona przez podmuch.



Fot. 6.21. Kadry z filmu obrazujące przebieg rozerwania zbiornika paliwa gazowego

Przyglądając się przebiegowi pożaru w doświadczeniu I i II widać różnice, mimo że oba zbiorniki paliwa gazowego były wyposażone w zawór bezpieczeństwa. W doświadczeniu I zawór działał prawidłowo, co nie uchroniło zbiornika przed rozerwaniem. Jak można jednak zauważyć po przebiegu temperatury w czasie doświadczenia, praca zaworu bezpieczeństwa nie chroni przed szybkim nagrzewaniem się zbiornika paliwa gazowego. Z powyższych doświadczeń wypływa wniosek, że w przypadku pożaru nie mniej istotna od ciśnienia otwarcia zaworu bezpieczeństwa jest jego wydajność.

Podobne eksperymenty przyczyniają się do rozwoju przepisów regulujących wymagania techniczne w stosunku do elementów układów zasilania LPG. Wersja pierwotna Regulaminu 67 EKG ONZ wymagała stosowania jedynie zaworu bezpieczeństwa. W obowiązującej obecnie serii poprawek do tego Regulaminu przewidziano możliwość zastosowania bezpiecznika termicznego. Dodano w niej również nowy typ badania, symulujący rzeczywisty pożar zbiornika.

Należy również wspomnieć o elemencie nie wymaganym przez polskie przepisy. Jest nim bezpiecznik termiczny. Jego działanie polega na otwarciu połączenia zbiornika z otoczeniem pod wpływem ustalonej z góry temperatury i ogranicza się jedynie do przypadku wystąpienia pożaru. Przekroczenie zadanej temperatury powoduje „przepalenie" bezpiecznika i rozszczelnienie zbiornika paliwa. Dzięki temu jest możliwy wypływ paliwa ze zbiornika. Procesu tego nie można w tym przypadku już wstrzymać.

Doświadczenie III i IV dowodzi skuteczności działania tego urządzenia. Zrzucanie paliwa zaczyna się przy niższych temperaturach i ciśnieniach w zbiorniku paliwa gazowego niż w zbiornikach nie wyposażonych w bezpiecznik i przebiega szybciej niż byłoby to możliwe do osiągnięcia tylko za pomocą zaworu bezpieczeństwa.

Bezpiecznik termiczny można zamontować w układach zasilania, które są wyposażone w przystosowane do tego króćce na zbiorniku paliwa LPG lub obudowie wielozaworu. W przypadku niedostosowania wielozaworu do montażu bezpiecznika termicznego, należy wymienić wielozawór.

Strażacy prowadzący akcję gaśniczą mają możliwość zorientowania się, czy samochód jest wyposażony w układ zasilania LPG po obecności zaworu tankowania paliwa, który jest umieszczany przeważnie z tyłu pojazdu. Nie jest to jednak metoda stuprocentowo pewna, ponieważ zawory tankowania mogą być montowane również w miejscach niewidocznych, na przykład pod klapką wlewu benzyny (wlew wykonany w standardzie holenderskim o niewielkich wymiarach).

Gaszenie samochodu polega na schłodzeniu go wodą i pianą z bezpiecznej odległości. Dopiero do tak przygotowanego samochodu podchodzą strażacy, by go dogasić. Jeżeli samochód jest ogarnięty przez płomienie, a pożar nie stwarza zagrożenia rozszerzenia się, to nie podejmuje się akcji gaśniczej. Wyznaczana jest strefa

bezpieczeństwa wokół palącego się pojazdu, a wypalone szczątki są dogaszane. Samochód ogarnięty przez płomienie będzie i tak całkowicie zniszczony, a gaszenie go nie spowoduje zmniejszenia strat właściciela.

Autorzy poprosili warszawskiego strażaka o wyrażenie prywatnej opinii na temat różnic w paleniu się samochodów wyposażonych w układ zasilania LPG i bez niego. Jego doświadczenia wskazują, że samochody te palą się podobnie. Nie spotkał się on w swej karierze zawodowej ze zwiększonym, ze względu na instalację gazową, zagrożeniem w czasie pożaru.

Z powyższych rozważań możemy wysnuć następujące wnioski:

- pożar samochodu jest możliwy do opanowania w jego początkowej fazie,
- jeżeli samochód jest ogarnięty przez ogień, a płomienie powodują nagrzewanie się zbiorników benzyny i LPG, to nie należy podchodzić do samochodu, należy również w miarę możliwości powstrzymać lub przynajmniej ostrzec inne osoby przed zbliżaniem się do zagrożonej przez pożar strefy.

6.13.5. Strzelanina

Rzadko na szczęście spotykana u nas strzelanina nie jest przypadkiem, z którym liczy się użytkownik pojazdu zasilanego gazem propan-butan. Mogłoby się zdawać, że samochód z przestrzelonym zbiornikiem LPG zapali się jak samochód z amerykańskiego filmu.

Próba sprawdzająca zachowanie się ostrzelanego zbiornika została przeprowadzona przez Wojskowy Instytut Techniki Uzbrojenia na zlecenie producenta zbiorników paliwa gazowego, firmę Stako. Doświadczenie obejmowało próby strzelania z broni wojskowej do zbiorników paliwa gazowego zawierających LPG. W wyniku tych prób ścianki zbiorników zostały przebite. Po strzale nastąpił wyciek paliwa LPG w postaci białej mgiełki, lecz nie nastąpiło jego zapalenie (fot. 6.22, 6.23). Wynik doświadczenia dowodzi, że zbiornik paliwa gazowego nie jest „bombą", lecz zbiornikiem zawierającym palny gaz. Jeżeli paliwo LPG uwolnione ze zbiornika nie napotka źródła zapłonu, to się nie zapali, a jedynie rozproszy w atmosferze do stężeń poniżej progu zapalności i zagrożenie minie.



Fot. 6.22. Przestrzelony zbiornik paliwa gazowego po przeprowadzeniu testu



Fot. 6.23. Biała mgiełka paliwa gazowego LPG w chwilę po przestrzeleniu zbiornika

6.14. Emisja zanieczyszczeń z układu wylotowego

Ocena ekologiczna samochodu jest zagadnieniem skomplikowanym i wymagającym uwzględnienia wszystkich etapów jego „życia": od produkcji przez eksploatację do złomowania. Wykracza to poza tematykę książki, dlatego też w ocenie uwzględniono jedynie emisję z układu wylotowego, czyli do czynnika, na który bezpośredni wpływ ma zmiana paliwa oraz układ sterownia składem mieszanki palnej.

Można wydzielić dwie grupy zanieczyszczeń:

- zanieczyszczenia, których emisja nie zależy od regulacji układu zasilania, a tylko od ich zawartości w paliwie, np. siarka, ołów;
- zanieczyszczenia, których emisja jest związana ze składem mieszanki palnej oraz warunkami spalania, jak prędkość obrotowa silnika, obciążenie i wiele innych, w efekcie których powstające spaliny zawierają różne ilości związków chemicznych, jak tlenek węgla, dwutlenek węgla, tlenki azotu oraz nie spalone węglowodory.

Wpływ zmiany paliwa zasilającego silnik na emisję najłatwiej ocenić dla pierwszej grupy, ponieważ emisja tych zanieczyszczeń zależy tylko od zawartości danego składnika w paliwie i zużycia paliwa. W tym przypadku emisja zanieczyszczeń jest limitowana przez ograniczanie ich dopuszczalnej zawartości w paliwie. Emisja zanieczyszczeń z drugiej grupy jest zależna od przebiegu procesu spalania, jak również od współpracy układu zasilania z układami oczyszczania spalin. Wpływ zmiany paliwa jest w tym przypadku znacznie trudniejszy do oceny.

Teoretycznie możliwe jest spalenie związków składających się z węgla i wodoru (propan, butan, a także węglowodory zawarte w benzynie) w taki sposób, aby otrzymać jako produkty spalania tylko dwutlenek węgla i wodę. Praktycznie jest to nieosiągalne i spaliny produkowane przez silnik spalinowy zawierają również tlenek węgla, tlenki azotu oraz nie spalone węglowodory.

6.14.1. Składniki spalin limitowane przez normy

Ołów

W czasach gdy używane były benzyny z dodatkiem związków ołowiu, użycie LPG, który nie zawiera ołowiu, do napędu samochodów wiązało się z ograniczeniem jego emisji. Po wprowadzeniu benzyn bezołowiowych i wycofaniu benzyn etylizowanych ze sprzedaży, również zasilanie silników benzyną nie powoduje skażenia środowiska ołowiem.

Siarka

Z powodu ograniczania zawartości siarki w benzynie, emisja siarki przy zasilaniu benzyną i LPG jest porównywalna. Przy występujących obecnie ilościach siarki w benzynach, efekt ekologiczny jest znikomy w porównaniu z emisją globalną.

Dwutlenek węgla (CO_2)

Dwutlenek węgla jest gazem nietoksycznym, występującym w dużej ilości (ok. 0,04% obj.) w atmosferze i niezbędnym dla życia roślin. Spalanie paliw kopalnych, w tym ropy naftowej do napędu samochodów, powoduje wprowadzanie do atmosfery ziemskiej związków węgla. Wzrost stężenia CO_2 w atmosferze jest uważny za jeden z czynników powodujących efekt cieplarniany, choć zdania na temat wpływu emisji CO_2 na klimat są podzielone.

Ograniczanie emisji związków węgla do atmosfery polega na ograniczaniu zużycia paliw przez samochody, natomiast polepszanie bilansu węgla w atmosferze możliwe jest przez wprowadzanie do paliw biokomponentów, czyli paliw wyprodukowanych na bazie roślin pochłaniających dwutlenek węgla z atmosfery.

Średnia liczba atomów wodoru przypadająca na jeden atom węgla jest większa w przypadku paliwa LPG niż w przypadku benzyn, co powoduje, że udział masowy węgla w benzynach wynosi ok. 87%, natomiast w paliwie LPG ok. 83%.

Z porównania udziałów masowych węgla w paliwie oraz wartości opałowych paliw wynika, że do wytworzenia takiej samej ilości energii (przy jednakowej sprawności procesu), przy zasilaniu LPG należy spalić ok. 11% węgla mniej niż przy spalaniu benzyny. Większa jest natomiast ilość spalanego wodoru. Emisja CO_2 z układu wylotowego samochodu jest zależna od ilości spalanego węgla, pomniejszonej o węgiel emitowany w postaci innych związków, jak tlenek węgla oraz nie spalone węglowodory.

6.14.2. Emisja związków chemicznych zależna od procesu spalania i regulacji składu mieszanki

Tlenek węgla (CO)

Znany jako „czad", który w dostatecznie dużym stężeniu jest niebezpieczny dla zdrowia człowieka. Powstawaniu tego związku sprzyja proces spalania zachodzący w warunkach niedoboru tlenu, zatem wzbogacanie mieszanki paliwowo-powietrznej powoduje wzrost emisji tego związku.

Tlenki azotu (NO_X)

Mieszanka palna w komorze spalania oprócz paliwa i tlenu zawiera azot, którego zawartość w powietrzu przekracza 70%. Azot nie bierze udziału w procesie spalania, lecz poddany działaniu wysokich temperatur i ciśnień w komorze spalania łączy się z tlenem, tworząc tlenki azotu. Stężenie tlenków azotu w spalinach nie jest zależne od rodzaju spalanego paliwa, lecz od przebiegu ciśnień i temperatur w procesie spalania oraz składu mieszanki. W przypadku rzeczywistego silnika, emisja tlenków azotu jest wypadkową wielu czynników. Można przyjąć w dużym uproszczeniu, że powstawaniu tych związków sprzyja zwiększanie obciążenia silnika (ciśnienie i temperatura w procesie spalania), a zapobiega wzbogacanie mieszanki paliwowo-powietrznej.

Węglowodory (CH)

Nie wszystkie węglowodory zawarte w paliwie doprowadzonym do komory spalania ulegają spaleniu. Emisji węglowodorów sprzyja wzbogacenie mieszanki paliwowo-powietrznej bądź znaczne jej zubożenie. Duże ilości węglowodorów w spalinach mogą być skutkiem niesprawności układu zapłonowego („wypadanie" zapłonów) lub części mechanicznych silnika, w szczególności zaworów wylotowych.

Emisja węglowodorów zależna jest od przebiegu procesu spalania, natomiast ich skład zależny jest od składu frakcyjnego paliwa użytego do zasilania silnika. W benzynie i w LPG można wyróżnić wiele związków węglowodorów, różniących się właściwościami, w tym również stopniem szkodliwości dla zdrowia.

Niektóre węglowodory aromatyczne są uważane za rakotwórcze, a ich zawartość w benzynach jest ograniczana przez przepisy. LPG zawiera śladowe ilości węglowodorów aromatycznych, zatem przy takim samym stężeniu węglowodorów w spalinach, spaliny samochodu zasilanego LPG będą zawierały ich znacznie mniej niż przy zasilaniu benzyną.

6.14.3. Właściwości ekologiczne samochodów nie wyposażonych w sondę lambda

Układy zasilania LPG I generacji są przeznaczone do montażu w samochodach, w których nie występuje sonda lambda. Są to samochody z silnikami wyposażonymi w gaźniki lub w układy wtrysku benzyny sterowane mechanicznie i elektronicznie.

Spaliny silnika pracującego w tych samych warunkach i zasilanego mieszanką o tym samym współczynniku nadmiaru powietrza, zawierają nieco mniej tlenku węgla i niespalonych węglowodorów przy zasilaniu LPG niż benzyną.

Właściwości emisyjne zmieniają się wraz ze zmianą współczynnika nadmiaru powietrza (rys. 6.16).

Układy zasilania benzyną jak i LPG nie wyposażone w sondę lambda, dla zachowania właściwych parametrów regulacyjnych wymagają okresowej kontroli i regulacji. Charakterystyka podawania benzyny przez gaźnik jest zdeterminowana przez jego konstrukcję, a możliwości regulacji w nowoczesnych gaźnikach bez wy-

miany zasadniczych części są ograniczone do regulacji składu mieszanki na biegu jałowym oraz regulacji niektórych urządzeń pomocniczych. Dobrze wykonany i konserwowany gaźnik zachowuje fabryczne parametry przez dziesiątki tysięcy kilometrów przebiegu samochodu, a z racji zastosowanych rozwiązań konstrukcyjnych nie jest podatny na zakłócenia przez warunki zewnętrzne.

Układ zasilania LPG I generacji ma o wiele większe możliwości regulacji charakterystyki dawkowania paliwa dla wybranego zakresu przepływu powietrza w układzie dolotowym, jednak możliwości kształtowania charakterystyki dawkowania w całym zakresie pracy silnika są ograniczone zarówno z powodu konstrukcji samego układu, jak i braku możliwości pomiarowych w warsztatach montujących układy zasilania LPG. Oznacza to, że regulacja składu mieszanki w jednym zakresie ma nie zawsze pozytywny wpływ na skład dla innych warunków pracy silnika, a dowolna regulacja wszystkich zakresów pracy silnika nie jest w praktyce możliwa.

Zmiany rozkładu ciśnień w komorze silnika mają istotny wpływ na skład mieszanki LPG-powietrze, co objawia się zmianami składu spalin, a tylko w skrajnych wypadkach prowadzą do problemów eksploatacyjnych (opisano w rozdziale 3).

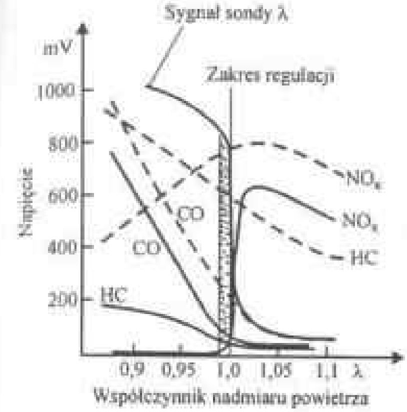
LPG dostępne na stacjach paliwowych ma zmienną zawartość propanu i butanu. Zmienność składu paliwa LPG jest dużo większa niż dla benzyn. W zależności od składu zatankowanego paliwa LPG, zmienia się skład mieszanki, pomimo zachowania regulacji. Korzystny efekt notowany jest po rozruchu zimnego silnika na LPG. W przypadku uruchamiania zimnego silnika zasilanego benzyną niezbędne jest znaczne wzbogacenie mieszanki dla zapewnienia rozruchu i stabilnej pracy zimnego silnika, co jest powodem dużej emisji tlenku węgla oraz węglowodorów w czasie rozruchu i nagrzewania silnika. Zimny silnik uruchomiony przy zasilaniu LPG pracuje poprawnie bezpośrednio po uruchomieniu, bez konieczności wzbogacania mieszanki LPG-powietrze.

Wpływ zasilania LPG na emisję pochodzącą z samochodów należących do tej grupy jest wielokierunkowy. Generalnie, układy zasilania LPG cechuje gorsza stabilność regulacji składu mieszanki niż układy zasilania benzyną. W stosunku do parametrów ustawionych podczas regulacji układu możliwe jest zarówno wzbogacenie, jak i zubożenie mieszanki LPG-powietrze. Jest to przyczyna, dla której reguluje je się dość bogato, w celu zapobieżenia zmniejszeniu mocy w eksploatacji.

Emisja z tej grupy samochodów przy zasilaniu obu paliwami zależy głównie od regulacji zarówno benzynowego układu zasilania, jak i regulacji układu zasilania LPG i można przyjąć, że w typowym przypadku są to wielkości porównywalne.

6.14.4. Właściwości ekologiczne samochodów niskoemisyjnych zasilanych LPG

Za samochody niskoemisyjne uważa się samochody wyposażone w sondę lambda i reaktor katalityczny (katalizator). Ograniczenie emisji w stosunku do starszych generacji samochodów jest wynikiem zastosowania reaktora katalitycznego oraz układów zasilania zapewniających precyzyjne sterowanie składem mieszanki.



- - - - stężenie przed reaktorem katalitycznym
——— stężenie za reaktorem katalitycznym

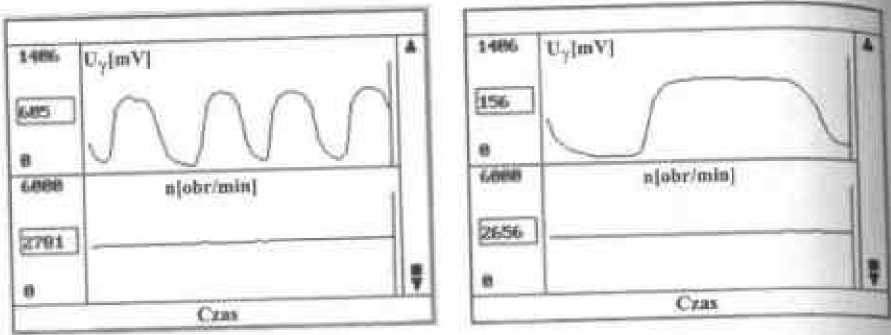
Rys. 6.16. Stężenie głównych zanieczyszczeń w spalinach oraz sygnał z sondy lambda, w zależności od współczynnika nadmiaru powietrza

Wielofunkcyjny reaktor katalityczny występujący w przeważającej liczbie samochodów niskoemisyjnych, działa utleniająco na tlenek węgla i węglowodory oraz redukuje tlenki azotu. Sprawność działania reaktora liczona spadkiem stężeń składników spalin, jest różna dla spalin o różnym składzie. Do zmniejszenia zawartości tlenków węgla i węglowodorów w spalinach optymalne jest środowisko utleniające (zawierające tlen), czyli spaliny pochodzące ze spalania mieszanek ubogich, natomiast do redukcji tlenków azotu optymalna jest duża zawartość tlenku węgla w spalinach pochodzących ze spalania mieszanek bogatych (rys. 6.16).

Stosowany jest kompromis, polegający na sterowaniu przez układ zasilania składu mieszanki bliskiego stechiometrycznemu, jako zapewniającego optymalną pracę reaktora. Jednak w przypadku stosowania reaktora, niedokładność w dawkowaniu paliwa ma o wiele większy wpływ na wzrost emisji, niż ma to miejsce w przypadku silników nie wyposażonych w reaktor. Wyjście z optymalnego dla pracy reaktora pola pracy powoduje wielokrotne zwiększenie stężeń za reaktorem katalitycznym, w porównaniu z optymalnymi warunkami jego pracy. Wzbogacenie składu mieszanki powoduje wzrost stężeń tlenku węgla i węglowodorów, a zubożenie – tlenków azotu. Na ten efekt składają się: wzrost stężenia czynnika w spalinach przed reaktorem oraz spadek sprawności reaktora katalitycznego.

Jeżeli silnik jest zasilany mieszanką o składzie stechiometrycznym niezmiennym w czasie, nie osiąga najlepszych, możliwych parametrów pracy. Najwyższą sprawność pracy (ponad 90%) reaktor osiąga wtedy, gdy skład mieszanki oscyluje wokół składu stechiometrycznego.

Typowa częstotliwość zmian składu mieszanki zapewniana przez układ zasilania benzyną wynosi kilka herców (6÷7 Hz). W przypadku stosowania układów mieszalnikowych II generacji czas odpowiedzi układu jest o wiele dłuższy niż benzynowego układu zasilania, co powoduje zmniejszenie częstotliwości zmian składu mieszanki w stosunku do zasilania benzynowego (opis w rozdziale 3). Widoczne jest to po przebiegu sygnału sondy lambda (rys. 6.17). Częstotliwość zmian sygnału



Rys. 6.17. Przebieg sygnału sondy lambda samochodu niskoemisyjnego, wyposażonego w wielopunktowy wtrysk benzyny i mieszalnikowy układ zasilania II generacji, przy zasilaniu benzyną (rysunek lewy) oraz LPG (rysunek prawy), przy podwyższonej prędkości biegu jałowego (ok. 2700 obr/min)

$U_λ$ – napięcie sondy lambda, n – prędkość obrotowa silnika

przy zasilaniu LPG jest w przedstawionym przykładzie około czterokrotnie niższa, niż przy zasilaniu benzyną. W zależności od pojemności tlenowej reaktora katalitycznego oraz od przebiegu składu mieszanki w czasie, może być przyczyną zwiększonej emisji wszystkich trzech rozpatrywanych zanieczyszczeń.

Większość samochodów wyposażonych w układy zasilania LPG II generacji udaje się wyregulować tak, aby emisja z układu wylotowego przy zasilaniu LPG odpowiadała emisji przy zasilaniu benzyną. Wymaga to jednak przeprowadzenia analizy pracy układu zasilania pod kątem emisji zanieczyszczeń i dopracowania ustawień układu zarówno w ustalonych warunkach pracy silnika (tzn. stałe prędkości jazdy), jak i warunkach nieustalonych (przyspieszanie, przełączanie zasilania z benzyny na LPG, hamowanie silnikiem), co jest możliwe do wykonania w warunkach laboratoryjnych z użyciem hamowni podwoziowej oraz wyposażeniem do pomiaru emisji z układu wylotowego. Regulacja układu wykonywana w warunkach warsztatowych ogranicza się przeważnie do warunków pracy silnika bez obciążenia i nie obejmuje pracy w stanach nieustalonych.

Przeprowadzane badania emisji pozwoliły na wykrycie przyczyn występowania błędów sterowania składem mieszanki, prowadzących do wzrostu emisji przy zmianie zasilania na LPG. Są nimi: nieprawidłowy dobór mieszalnika i reduktora, nieprawidłowe ustawienie sterownika układu LPG, problemy ze sterowaniem składu mieszanki w warunkach nieustalonych pracy silnika (na przykład często występujące wzbogacanie mieszanki podczas hamowania silnikiem), a także zakłócenie ciśnień w układzie dolotowym silnika oraz w otoczeniu otworu kompensacyjnego reduktora przez nawiew powietrza, przy braku obwodu kompensacji ciśnienia.

W warunkach eksploatacji samochodu niskoemisyjnego, wyposażonego w układ zasilania LPG II generacji, niedoskonałości układu sterowania powodują często wzrost emisji przy zasilaniu LPG, w porównaniu z zasilaniem benzyną.

Pod względem emisyjnym układy LPG III generacji są korzystniejsze od układów mieszalnikowych II generacji, przez zapewnienie stabilności pracy oraz

odporności na zakłócenia zewnętrzne. Nie osiągnęły one jednak poziomu umożliwiającego zapewnienie jakości sterowania porównywalnej z układami wtrysku benzyny.

Układy zasilania LPG IV generacji są montowane do samochodów najnowszej generacji, wyposażonych w najbardziej rozbudowane układy oczyszczania spalin. Ze względu na konieczność dostosowania precyzji sterowania składem mieszanki do wymagań systemu OBD, bez użycia emulatorów sond lambda precyzja sterowania składem mieszanki LPG-powietrze odpowiada precyzji sterowania wtryskiem benzyny. Pozwala to na osiągnięcie w eksploatacji poziomu emisji porównywalnej z emisją przy zasilaniu silnika benzyną.

Na emisję substancji szkodliwych z układu wylotowego wpływ mają nie tylko cechy paliwa, lecz również konstrukcja układu zasilania i jego sterowanie. Przygotowanie mieszanki powietrza z benzyną i powietrza z LPG może zachodzić zarówno w prostym układzie zasilania, jak również w nowoczesnym, w pełni wykorzystującym możliwości sterowania składem mieszanki, jakie daje współczesna elektronika. Z tego względu nie można porównywać emisji z układu wylotowego samochodu zasilanego benzyną i LPG w oderwaniu od zastosowanego układu zasilania paliwem.

Propan-butan ma wiele korzystnych cech, które właściwie wykorzystane mogą prowadzić do zmniejszenia emisji z układu wylotowego samochodu. Poza zmniejszaniem emisji siarki oraz związków węgla do atmosfery, które to zalety wynikają wprost z cech paliwa LPG, w porównywalnych warunkach pracy silnika zasilanego LPG spaliny zawierają nieco mniej węglowodorów i tlenku węgla, dużo mniej wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych i aldehydów niż w przypadku zasilania benzyną i spalania mieszanki o identycznym składzie (współczynniku nadmiaru powietrza).

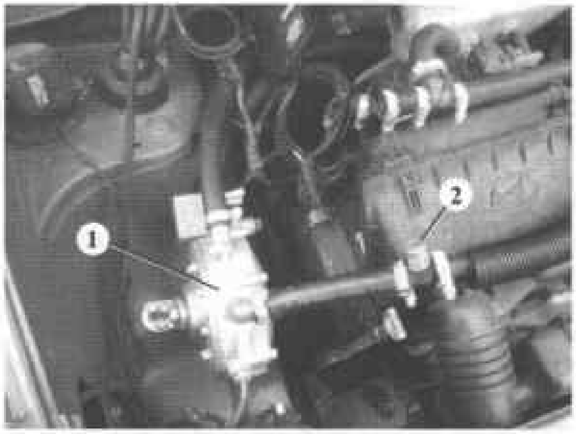
Nie można mówić o ekologicznym paliwie w oderwaniu od sposobu jego spalenia. Obecnie w eksploatacji używanych jest kilka generacji układów zasilania benzyną i każdej z tych generacji odpowiada, pod względem emisji, generacja układów zasilania LPG (tabela 6.2).

Układy zasilania LPG III i IV generacji ze względu na ich cenę nie są powszechnie stosowane. Ich sprzedaż rośnie, lecz nadal montowane są masowo tańsze od nich układy mieszalnikowe. Ze względów ekonomicznych powszechne jest mon-

Tabela 6.2

Porównanie układów zasilania benzyną i LPG pod względem emisji

Zasilanie benzyną	Zasilanie LPG
układ gaźnikowy, wtrysk bez sondy lambda	układ LPG I generacji
samochód z silnikiem wyposażonym we wtrysk sterowany elektronicznie (w oparciu o wskazania sondy lambda) i w reaktor katalityczny	układ LPG III generacji
jak wyżej, a ponadto samochód wyposażony w system OBD	układ LPG IV generacji



Fot. 6.24. Samochód niskoemisyjny, wyposażony w układ zasilania LPG I generacji
1 – reduktor, 2 – zawór dławiący („śruba")

towanie w samochodach niskoemisyjnych, nawet wyposażonych w nieskomplikowane systemy OBD, najtańszych układów LPG I generacji. Zamontowanie układu zasilania LPG I generacji do samochodu niskoemisyjnego jest, pod względem emisyjnym, porównywalne do zamontowania przypadkowego gaźnika. Nieprecyzyjne sterowanie powoduje zasilanie silnika mieszanką o składzie, przez cały czas pracy silnika, znacznie wykraczającym poza optymalne dla reaktora katalitycznego pole pracy, co często prowadzi do jego przyspieszonego zużycia. Konsekwencją jest pogorszenie właściwości emisyjnych samochodu również przy zasilaniu benzyną.

Brak motywacji do zakupu droższych, lecz zapewniających porównywalne z zasilaniem benzyną właściwości emisyjne samochodu, powoduje powszechne używanie układów LPG I i II generacji w samochodach niskoemisyjnych, co prowadzi do znacznego zwiększenia emisji dużej części samochodów przystosowanych do zasilania LPG. Skutek użycia LPG zamiast benzyny do zasilania samochodów w danym przypadku nie jest dla środowiska korzystny pod względem emisji składników spalin, zależnej od regulacji składu mieszanki palnej.

6.14.5. Wymagania kontroli emisji spalin w eksploatacji

Samochody zarejestrowane w Polsce po raz pierwszy do 30 czerwca 1995 roku, podlegają kontroli stężenia tlenku węgla w spalinach na biegu jałowym. Wartości dopuszczalne wynoszą 4,5% tlenku węgla dla samochodów rejestrowanych do dnia 30 września 1986 roku i 3,5% dla samochodów rejestrowanych po raz pierwszy od 1 października 1986 roku do 30 czerwca 1995 roku.

Pod warunkiem właściwej regulacji składu mieszanki na biegu jałowym spełnienie wymagań nie stanowi problemu, bez względu na stan techniczny silnika oraz rodzaj stosowanego układu zasilania.

Samochody rejestrowane po 30 czerwca 1995 roku kontrolowane są przy podwyższonej prędkości biegu jałowego 2000...3000 obr/min (CO) oraz na biegu jałowym. Przepisy wymagają, aby:

– przy podwyższonej prędkości biegu jałowego stężenie tlenku węgla w spalinach nie przekraczało 0,3%, węglowodorów 100 ppm, a współczynnik nadmiaru powietrza powinien mieścić się w granicach 0,97...1,03;
– przy prędkości biegu jałowego stężenie tlenku węgla w spalinach nie przekraczało 0,5%, a węglowodorów 100 ppm.

Wymagania mają na celu sprawdzenie:
– stanu technicznego silnika,
– poprawności regulacji składu mieszanki,
– stanu reaktora katalitycznego.

Jeżeli silnik jest w złym stanie technicznym, powodującym wzrost emisji węglowodorów bądź jest wyposażony w niedziałający reaktor katalityczny, mogą wystąpić problemy ze spełnieniem warunku stężenia węglowodorów tak przy zasilaniu LPG, jak i benzyną, szczególnie przy prędkości obrotowej biegu jałowego.

Dla spełnienia wymagań dotyczących składu spalin przy podwyższonej prędkości biegu jałowego, niezbędne jest precyzyjne sterowanie składem mieszanki. Jeżeli w samochodzie występuje układ zasilania LPG I generacji, to spełnienie tego warunku nie jest łatwe. Nawet dokładna regulacja układu LPG, wykonana bezpośrednio przed udaniem się na stację kontroli pojazdów nie gwarantuje, że skład mieszanki w czasie kontroli będzie zgodny z wymaganiami.

Tylko sprawnie działający układ zasilania LPG generacji II[11], III i IV zapewnia właściwy skład mieszanki.

6.15. Kryteria wyboru układu zasilania LPG

Przed podjęciem decyzji o wyborze układu LPG należy odpowiedzieć sobie na pytanie, czy opłaca się go instalować. Rozważyć trzeba następujące problemy:
– jak obniżą się koszty eksploatacji,
– po jakim czasie zwrócą się wydatki poniesione na założenie układu LPG,
– jakie mogą być dodatkowe wydatki związane z użytkowaniem samochodu zasilanego LPG.

6.15.1. Koszt eksploatacji

Przy ocenie kosztów eksploatacji samochodu zasilanego LPG należy wziąć pod uwagę:
– zużycie benzyny i LPG,
– różnicę cen benzyny i LPG,
– koszt serwisu i przeglądów,
– trwałość elementów.

[11] Układy zasilania LPG II generacji cechują się gorszą emisją niż układy wtryskowe benzyny, głównie podczas nieustalonych faz pracy silnika, natomiast kontrola w stacji diagnostycznej obejmuje pracę silnika w warunkach ustalonych. Dobre wyniki stężeń na biegu jałowym nie przesądzają o właściwościach emisyjnych w eksploatacji.

Cena LPG jest obecnie znacznie niższa od ceny benzyny. W przeciwieństwie do cen benzyny, cena LPG wykazuje cykliczne wahania w zależności od pory roku. Zimą LPG jest najdroższe, natomiast w sezonie wakacyjnym najtańsze. Sezonowe wahania cen dochodzą do 25...30%. Osoby, które jeżdżą więcej latem niż zimą (np. dojazdy na działkę) ograniczą koszty zakupu paliwa w większym stopniu niż osoby używające samochodu z jednakową intensywnością przez cały rok. To samo dotyczy zużycia benzyny wynikającego z uruchamiania samochodu i nagrzewania silnika przy zasilaniu tym paliwem.

Zużycie LPG w stosunku do zużycia benzyny (wyrażane w dm^3) jest większe o ok. 25%, przy czym w zależności od czynników związanych z konstrukcją samochodu, regulacji układu zasilania LPG oraz sposobu eksploatacji, różnica ta może się zmieniać.

Przy wstępnej ocenie kosztów można przyjąć, że koszt paliwa przy zasilaniu silnika LPG (przy cenach w połowie 2003 r.) wynosi orientacyjnie 50% kosztów benzyny.

Dla osób, które decydują się na zakup układu zasilania LPG istotny jest nie tylko stan obecny, lecz stabilność cen paliw w czasie amortyzacji kosztów zakupu. Niska cena LPG wynika przede wszystkim z niskiej akcyzy na to paliwo, dlatego też nie można mieć pewności co do stabilności jego ceny[12]. Ponieważ trudno przewidzieć zmiany w wysokości podatku akcyzowego, dlatego też przeprowadzony rachunek oparto na założeniu stabilności cen. Za przyjęciem takiego założenia może świadczyć to, że przelicznik ten utrzymuje się bez większych zmian od kilku lat.

Roczny koszt serwisu układu LPG jest niewielki. Czynności serwisowe ograniczają się z reguły do czyszczenia filtrów oraz spuszczenia kondensatu z reduktora. W przypadku układów I i II generacji dochodzi do tego koszt regulacji reduktora, natomiast w przypadku układów III i IV generacji – sprawdzenia poprawności działania układu. Koszty obsługi i regulacji układu zasilania LPG nie są wysokie i nie stanowią istotnej pozycji w ogólnych kosztach eksploatacji samochodu.

Trwałość elementów układu jest zróżnicowana. Zbiornik paliwa jest dopuszczony do użytkowania przez czas określony w jego certyfikacie. Po upływie terminu ważności certyfikatu należy przeprowadzić powtórne badanie techniczne zbiornika lub wymienić go na nowy[13].

Zużycie reduktora następuje po 60 do 300 tys. km[14], natomiast trwałość innych elementów, takich jak wielozawór, zawory odcinające oraz podzespoły elektroniczne przeważnie jest wyższa od trwałości reduktora.

Układy zasilania LPG III i IV generacji są zbyt nowe na rynku, aby pokusić się o ich ocenę pod względem trwałości.

[12] Brak pewności co do stabilności cen pozostałych rodzajów paliwa (oleju napędowego i benzyny) również występuje. Poziom cen tych paliw zależy od ceny ropy naftowej na światowych giełdach, które, jak dowodzi historia, mogą ulegać znacznym wahaniom. Poza tym może ulec zmianie podatek akcyzowy na te paliwa. Decyzja o zmianie wysokości podatku jest decyzją administracyjną, w związku z tym jest trudna do prognozowania.

[13] Decyzja co wybrać, zależy od porównania kosztów i stopnia kłopotliwości obu czynności.

[14] Pod warunkiem odpowiedniej eksploatacji i dobrej jakości gazu.

6.15.2. Okres amortyzacji

Oszacowanie czasu potrzebnego do zwrotu nakładów poniesionych na zakup i montaż układu zasilania LPG, wymaga znajomości średniego rocznego przebiegu samochodu, zużycia paliwa przez samochód oraz ceny układu LPG.

Koszt układu LPG jest zależny głównie od kosztu elementów użytych do montażu. Najprostszy układ zasilania LPG I generacji kosztuje ok. 1000 zł, natomiast wtrysk fazy ciekłej IV generacji, będący najdroższym typem układu zasilania, kosztuje ok. siedmiokrotnie więcej. Wewnątrz tego przedziału znajduje się cała gama układów LPG różniących się konstrukcją i przeznaczeniem.

Podejmując decyzję o zakupie układu zasilania LPG można zadać sobie pytanie, dlaczego nie wybrać układu najtańszego? Jakie wady i zalety mają poszczególne generacje układów LPG?

Układy LPG I generacji są zalecane do montażu w samochodach nie wyposażonych w sondę lambda, zatem powinny być stosowane w silnikach gaźnikowych oraz z układami wtryskowymi nie sterowanymi sondą lambda. Układy te są montowane również w nowszych generacjach silników. Jest to możliwe po zastosowaniu emulatorów sondy (sond) lambda, które generują sygnały traktowane przez sterownik silnika jako świadczące o poprawności działania układu wtrysku benzyny. W takim przypadku rzeczywiste sterowanie silnikiem może przebiegać w dowolny sposób, nie powodując generowania błędów w sterowniku silnika. Montaż układu LPG tego typu do silników nowszych generacji, w tym sterowanych sondą lambda, powoduje wzrost emisji oraz duże prawdopodobieństwo wystąpienia wielu niepożądanych skutków, ze zmniejszeniem trwałości elementów silnika włącznie. Jako najtańsze, układy te są często montowane w samochodach, do których nie są przeznaczone.

Zalety układów tej generacji są następujące:
- niski koszt zakupu oraz eksploatacji,
- tanie części zamienne,
- prosta konstrukcja,
- uniwersalność zastosowania.

Wadami natomiast są:
- podatność na zakłócenia ciśnienia w układzie dolotowym oraz zmiany składu frakcyjnego LPG,
- właściwy montaż i regulacja wymaga wysokich kwalifikacji,
- jakość sterowania składem mieszanki przeważnie gorsza niż przeciętnego gaźnika,
- prawdopodobieństwo wystąpienia strzału.

Układy LPG II generacji są przystosowane do pracy z silnikami mającymi w układzie wylotowym sondę lambda[15], której sygnał jest wykorzystywany do ste-

[15] Układ II generacji może być także montowany do samochodów z silnikami gaźnikowymi nie mającymi w układzie wylotowym sondy lambda po zamontowaniu jej, co nie jest czynnością skomplikowaną. Stosowany bardzo rzadko, ponieważ zwiększa koszt dostosowania samochodu do zasilania LPG o koszt sondy.

rowania składem mieszanki LPG-powietrze. Jakość sterowania jest zależna od sposobu montażu oraz regulacji układu LPG, a w mniejszym stopniu od jakości elementów.

Jakość sterowania składem mieszanki przez układy LPG II generacji nie dorównuje układom wtrysku benzyny sterowanym elektronicznie. Dobrze zamontowany i wyregulowany układ II generacji wykazuje właściwości adaptacyjne, które pozwalają skorygować zmiany zawartości składników (propanu i butanu) w paliwie LPG oraz do pewnego stopnia korygować charakterystykę dawkowania paliwa przez reduktor. Zaleca się stosowanie tych układów LPG w silnikach mających układ dolotowy odpowiedniej wytrzymałości, który jest odporny na wystąpienie „strzału"[16].

Zalety tych układów LPG są następujące:
- jak układów I generacji,
- w określonym zakresie kompensują wpływ zakłóceń w układzie dolotowym oraz zmiany składu paliwa LPG.

Wadami natomiast są:
- właściwy montaż i regulacja wymaga wysokich kwalifikacji,
- jakość sterowania składem mieszanki przeważnie gorsza niż przeciętnego układu wtryskowego benzyny,
- prawdopodobieństwo wystąpienia strzału,
- często występujący brak funkcji ogranicznika prędkości obrotowej silnika.

Układy LPG III generacji są przystosowane do pracy z silnikami wyposażonymi w sondę lambda w układzie wylotowym. Sterowanie składem mieszanki LPG-powietrze kopiuje zasadę działania układu wtrysku benzyny. Jest ono realizowane na podstawie sygnałów zbieranych z silnika, mapy wtrysku i prędkości obrotowej tworzonej w pamięci sterownika układu LPG oraz korygowane na podstawie sygnału sondy lambda. Jakość sterowania jest mniej zależna od sposobu montażu oraz regulacji układu LPG niż w przypadku I i II generacji oraz mniej podatna na zakłócenia, przez co zapewnione jest znacznie lepsze sterowanie składem mieszanki niż w układach II generacji.

Większość układów III generacji wprowadza LPG do kolektora dolotowego, co zabezpiecza układ dolotowy przed „strzałem".

Zaleca się montaż układu w silnikach, w których ryzyko finansowe związane z wystąpieniem zjawiska „strzału" przewyższa oszczędności z wyboru układu I bądź II generacji.

Zalety układu III generacji są następujące:
- stosunkowo prosty montaż i regulacja,
- sterowanie składem mieszanki bliższe pod względem jakości sterowania układu wtrysku benzyny,
- zabezpiecza przed „strzałem".

Wadą natomiast jest wyższa cena niż układów I i II generacji.

Układy LPG IV generacji są dostosowane do pracy w silnikach wyposażonych w system OBD, szczególnie w przypadku realizacji przez nie funkcji aktyw-

[16] Więcej w podrozdziale 6.12.1.

nych, nie dających się „oszukać" przez stosowanie emulatorów. Układy te mogą być montowane do wszystkich silników wyposażonych w elektronicznie sterowany wtrysk wielopunktowy, ponieważ sterowanie dawką LPG dokonywane jest przez sterownik silnika z wykorzystaniem sygnału sterującego wtryskiwaną dawką benzyny.

Zalety układów tej generacji są następujące:
- realizują wszystkie funkcje sterownika, których działanie polega na zmianie dawki paliwa;
- można je montować bez stosowania emulatorów, co jest dowodem porównywalnej jakości sterowania mieszanką LPG-powietrze i benzyna-powietrze;
- zabezpieczają przed „strzałem".

Wadami natomiast są:
- wysoka cena układu i części zamiennych;
- w niektórych przypadkach montaż układu wymaga specjalistycznego wyposażenia, nie zawsze dostępnego w Polsce[17].

Do oceny przebiegu samochodu zasilanego LPG, po osiągnięciu którego koszt układu LPG zrówna się z oszczędnościami wynikającymi z użycia tańszego paliwa, wykonano obliczenia porównawcze dla trzech samochodów o założonym średnim zużyciu benzyny 7, 10, i 13 dm³/100 km, w których zainstalowano układy zasilania LPG kosztujące: 1000, 2500, 4500 i 8000 zł (tabela 6.3).

Tabela 6.3

Średni przebieg (tys. km), po którym następuje zwrot kosztów montażu układu LPG

Średnie zużycie [dm³/100 km]		Koszt układu LPG [zł]			
benzyny	LPG	1000	2500	4500	8000
7	8,8	8,5	21,3	38,4	68,2
10	12,5	6,0	14,9	26,9	47,8
13	16,3	4,6	11,5	20,7	36,7

Na koniec należy zwrócić uwagę na jeszcze jedną cechę układów LPG. Jest nią uniwersalność zastosowania. Przykładem są układy zasilania LPG I i II generacji, których konstrukcja pozwala na montaż podstawowego zestawu części w całej grupie pojazdów o określonej pojemności skokowej silnika.

Natomiast instalacja „dedykowana"[18] wytwarzana przez daną firmę jest przystosowana do konkretnego typu silnika i nie pozwala na modyfikację zastosowania zestawu montażowego. Wybór instalacji uniwersalnej pozwala na demontaż jej ze sprzedawanego samochodu i montaż w nowo zakupionym[19], czego nie da się przeprowadzić z instalacją „dedykowaną" w przypadku zmiany typu samochodu.

[17] Patrz opis instalacji firmy Vialle w rozdziale 4.
[18] Dotyczy wyłącznie układów zasilania LPG III i IV generacji.
[19] Jeżeli zmieniające się przepisy nie uniemożliwią użycia instalacji z nieaktualną homologacją.

Instalacje „dedykowane" sprawiają mniej kłopotów w eksploatacji, ponieważ są testowane jako zestaw na konkretnym typie pojazdu, a problemy techniczne[20] mogące zakłócić prawidłową pracę silnika są weryfikowane u producenta instalacji. Jednak w przypadku wystąpienia problemów z instalacją, zakład montujący często nie ma dostępu do funkcji sterujących, a swą diagnozę musi opierać na testach sprawności przeprowadzanych za pomocą komputera serwisowego.

Między instalacjami „dedykowanymi" i uniwersalnymi można wyróżnić instalacje specjalizowane. Polega to na dostarczaniu instalacji LPG w postaci komponentów uniwersalnych, dostosowanych do pracy w wielu typach samochodów. Jednak oprogramowanie jest opracowane dla danego typu silnika i wgrywane do sterownika instalacji LPG podczas montażu. Instalacje tego typu mają możliwość ingerencji w oprogramowanie sterownika, lecz dostęp do niego jest ograniczony przez zabezpieczenia. Możliwość ingerencji nie jest wykorzystywana podczas normalnie przebiegającego montażu, a wykorzystywana przez osoby upoważnione, w przypadku wystąpienia problemów technicznych.

Przy zakupie samochodu nowego lub używanego objętego jeszcze okresem gwarancyjnym należy również ustalić, czy zamontowanie układu zasilania LPG nie spowoduje utraty gwarancji. Niektóre firmy samochodowe pozwalają w takich samochodach montować konkretny typ instalacji.

6.15.3. Wnioski

Opłacalność zakupu układu zasilania LPG jest największa, jeżeli samochód charakteryzuje się dużym zużyciem paliwa, przebiegi roczne są duże, a zamontowany układ LPG jest możliwie tani. Oszczędności w kosztach paliwa pozwalają na zbilansowanie zakupu układu I generacji już po kilku tysiącach kilometrów, co przeciętnie oznacza kilka miesięcy eksploatacji. Należy zwrócić uwagę na fakt, że najszybciej się zwraca montaż układu LPG I generacji do samochodu z silnikiem gaźnikowym. Układy droższe zapewniają poprawę pracy silnika przy zasilaniu LPG, jednak każda generacja samochodów wymaga zastosowania przeznaczonego do niej układu zasilania LPG.

Przy podejmowaniu decyzji o wyborze typu układu zasilania LPG konieczne jest wzięcie pod uwagę możliwości wystąpienia zjawiska „strzału"[21]. Jest on najbardziej prawdopodobny przy układach I i II generacji, a więc tych najtańszych. Jeżeli układ dolotowy silnika nie jest dostosowany do jego wystąpienia, to istnieje możliwość zniszczenia kolektora dolotowego, filtra powietrza i elektroniki pomiarowej.

Ewentualne oszczędności na cenie zakupu układu LPG mogą się zemścić w eksploatacji (kosztowne naprawy układu dolotowego)!

[20] Problemy z elektroniką samochodu najczęściej występują na styku układ LPG – układ wtrysku benzyny.

[21] Opis w podrozdziale 6.12.1.

Gorsze[22] sterowanie składem mieszanki przyczynia się również do szybsz
go zużywania się reaktora katalitycznego, co może spowodować problemy z uz
skaniem pozytywnego wyniku przeglądu na stacji diagnostycznej.

Dużą konkurencją dla układów LPG III i IV generacji jest wprowadzenie
sprzedaży samochodów wyposażonych w nowoczesne silniki o zapłonie samoczy
nym (diesle), charakteryzujące się niskim zużyciem paliwa oraz przewidywany ro
wój zasilania samochodów metanem (gazem ziemnym), wymagających odmienny
zbiorników oraz układu zasilania, uzależniony od rozwoju sieci stacji umożliwiaj
cych tankowanie samochodów tym paliwem.

[22] Pod względem emisyjnym.

DODATEK A

Przepisy i wymagania dotyczące bezpieczeństwa układów zasilania gazem

Nowy model samochodu, zanim trafi do sprzedaży przechodzi szereg badań na zgodność z wymaganiami zawartymi w Regulaminach EKG ONZ. Stanowią one załączniki do porozumienia dotyczącego przyjęcia jednolitych przepisów technicznych dla pojazdów kołowych, wyposażenia i części, w których zamieszczono wymagania odnośnie elementów i opis metodyki ich badań. Poszczególne regulaminy dotyczą innych zagadnień, takich jak na przykład hamulce, światła, lusterka, opony, przewody paliwowe, moc silnika, emisja zanieczyszczeń, hałas i wielu innych. Do przeprowadzenia badań homologacyjnych na zgodność z wymaganiami tych regulaminów i uzyskania cząstkowych świadectw homologacji, zobligowany jest producent samochodu.

Po otrzymaniu wszystkich wymaganych przepisami świadectw homologacji, dany typ[1)] samochodu dopuszczany jest do sprzedaży przez uprawnione do tego władze. Od tego momentu producent może wprowadzić dany model do sprzedaży. Jest on również zobligowany do poddania się procedurom kontroli zgodności produkcji z typem homologowanym. Ich częstotliwość przeprowadzania określana jest w dokumentacji homologacyjnej (przeważnie wynosi raz na rok).

Regulaminy, wraz z rozwojem techniki oraz ze względu na coraz ostrzejsze wymagania dotyczące np. ochrony środowiska, ulegają ciągłym zmianom, wprowadzanym do tych dokumentów „pakietami". Tak zmodyfikowane wersje regulaminów określane są kolejnymi numerami serii poprawek[2)].

Ponieważ elementy układów zasilania gazem ciekłym propan-butan stanowią części samochodowe, podlegają również badaniom na zgodność z regulaminami. Regulamin, który ich dotyczy nosi numer 67 [11]. Wersja pierwotna tego Regulaminu weszła w życie 1 czerwca 1987 roku i określała jedynie wymagania i metody badań elementów wchodzących w skład układu zasilania LPG.

[1)] Typ pojazdu oznacza kategorię pojazdów silnikowych, które nie różnią się między sobą pod względem charakterystyki silnika i pojazdu podanymi w opisie technicznym typu, będącym załącznikiem do świadectwa homologacji (np. jeżeli samochód będzie różnił się tylko układem wtryskowym, tzn. w jednym pojeździe będzie wtrysk jednopunktowy, a w drugim wielopunktowy, to te dwa pojazdy stanowią inny typ).

[2)] Wprowadzane są również inne drobniejsze zmiany pod postacią uzupełnień lub korekt.

Rozwój układów zasilania benzyną i wzrost stopnia ich skomplikowania ze względu na znaczną elektronizację sterowania tymi układami, wymusił postęp w konstrukcji układów zasilania LPG. Pojawiły się nowe elementy tych układów (np. pompa LPG), które nie istniały w momencie opracowywania wersji pierwotnej Regulaminu. Z tego powodu oraz ze względu na zwiększenie bezpieczeństwa użytkowania samochodów zasilanych LPG, zaistniała konieczność wprowadzenia zmian do Regulaminu. W wyniku tego została opracowana seria 01 poprawek. Weszła ona w życie 13 listopada 1999 roku. Zapisy w niej zawarte dopuszczały roczny okres przejściowy, w którym strony porozumienia nie powinny nie uznawać typu elementu składowego homologowanego zgodnie z Regulaminem 67 EKG ONZ w jego postaci pierwotnej. Po upływie tego okresu mogą one odmówić prawa sprzedaży elementu, który nie spełnia wymagań serii 01 poprawek, chyba że jest on przeznaczony jako część zamienna do zamontowania w pojazdach już eksploatowanych. Ministerstwo Transportu i Gospodarki Morskiej, biorąc pod uwagę ogromne zapasy magazynowe firm sprzedających i montujących układy zasilania gazem, wyraziło zgodę na wykorzystanie elementów mających homologację na zgodność z wymaganiami zawartymi w wersji pierwotnej Regulaminu do dnia 31.03.2002 r. (pismo numer TS-3b-441-96/00 z dnia 21.11.2000 r.). Wynika z tego wniosek, że samochody, w których zamontowano układ zasilania gazem po dniu 31.03.2002 r. **muszą bezwzględnie być wyposażone w elementy, które mają świadectwo homologacji spełnienia wymagań zawartych w Regulaminie 67 EKG ONZ, seria 01 poprawek.** Jak poznać, czy dany element spełnia ten warunek, zamieszczono w dalszej części tekstu.

W nowej wersji Regulaminu pojawiła się również część dotycząca warunków, jakie musi spełniać układ zasilania zamontowany w samochodzie. Regulamin dotyczy układów zasilania LPG montowanych w samochodach przez ich producentów. Nie ma natomiast w chwili obecnej regulaminu normującego wymagania odnośnie układów montowanych w samochodach używanych. Taki dokument jest w trakcie opracowywania.

Dla unormowania tych kwestii Minister Transportu i Gospodarki Morskiej wydał rozporządzenie w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia [12]. W załączniku 7 do tego rozporządzenia podano warunki, jakie musi spełnić pojazd przystosowany do zasilania gazem. Różnice między wymaganiami zawartymi w obu dokumentach, tzn. Regulaminie 67 EKG ONZ seria 01 poprawek i załączniku 7 do rozporządzenia, są niewielkie. Wymagania dotyczące poszczególnych elementów omówiono przy ich opisywaniu.

Obecna sytuacja prawna prowadzi do odmiennych warunków, jakie musi spełnić producent samochodu wyposażanego w układ zasilania LPG oraz zakład zajmujący się montażem takich układów w samochodach już eksploatowanych. Producent jest zobligowany do przeprowadzenia całej procedury homologacyjnej związanej z wprowadzeniem do sprzedaży nowego typu samochodu. W przypadku wyposażenia go w układ zasilania LPG, producent musi dostarczyć samochód do badań homologacyjnych na zgodność z wymaganiami regulaminów dotyczących emis

zanieczyszczeń, zużycia paliwa, maksymalnej mocy silnika oraz hałasu[3]. W przypadku spełnienia tych wymagań, uzyskuje świadectwo homologacji na przedstawiony do badań typ pojazdu wyposażony w konkretny układ zasilania LPG. Oznacza to, że może montować tylko układ zasilania LPG w takiej kompletacji, jaka była przedstawiona do badań homologacyjnych i tylko do homologowanego typu pojazdu.

Zakład montujący musi uzyskać od ministerstwa pozwolenie na montaż. Uzyskuje go po pomyślnym zakończeniu badań prowadzonych w jednostce do tego upoważnionej. Zakres badań obejmuje ocenę:

- poprawności zabudowy układu na przedstawionych do oceny pojazdach (na podstawie rozporządzenia MI Dz. U. Nr 32/2003, poz. 262 zał. 7);
- emisji zanieczyszczeń z układu wylotowego przy zasilaniu LPG według Regulaminu 83 EKG ONZ, według serii poprawek obowiązujących w okresie produkcji przedstawionych do badań pojazdów.

Pozwolenie na montaż upoważnia do wystawiania certyfikatów dotyczących montażu układów zasilania LPG w pojazdach. Taki certyfikat wymagany jest do uzyskania wpisu w dowodzie rejestracyjnym pojazdu, zaświadczającego o wyposażeniu samochodu w układ zasilania LPG.

W celu zarejestrowania pojazdu jako przystosowanego do zasilania gazem, jego właściciel, po otrzymaniu od zakładu dokonującego montażu układu zasilania LPG wyciągu ze świadectwa, jest zobowiązany w ciągu 30 dni od daty montażu zgłosić ten fakt do swojego wydziału komunikacji, w którym uzyskuje adnotację w dowodzie rejestracyjnym o treści „przystosowany do zasilania gazem".

Jak sprawdzić poprawność zabudowy układu zasilania LPG?

Każdy układ zasilania gazem zamontowany w samochodzie powinien spełniać następujące wymagania:

- elementy układu muszą mieć homologację zgodnie z wymaganiami Regulaminu 67 EKG ONZ według jego odpowiedniej wersji[4],
- sposób montażu musi być zgodny z warunkami dodatkowymi dla pojazdu przystosowanego do zasilania gazem propan-butan, zamieszczonymi w Załączniku 7 Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 31 grudnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia (Dz. U. Nr 32/2003, poz. 262).

W wersji pierwotnej Regulaminu 67 EKG ONZ nie było wymagań odnośnie elementów, które muszą wchodzić w skład układu zasilania gazem. Pojawiły się one dopiero w serii 01 poprawek do tego regulaminu i obejmują:

- zbiornik paliwa,

---

[3] Oczywiście oprócz Regulaminu 67 EKG ONZ w obowiązującej wersji.

[4] Aktualnie obowiązuje seria 01 poprawek do Regulaminu 67 EKG ONZ. W procesie homologacji obowiązuje ona od 13 listopada 1999 r., a w przypadku montażu od 13 listopada 2000 r. Jednak Ministerstwo Transportu i Gospodarki Morskiej wyraziło zgodę na montaż elementów mających homologację na zgodność z wymaganiami zawartymi w podstawowej wersji Regulaminu 67 EKG ONZ pochodzących z zapasów magazynowych, do dnia 31.03.2002 r. Praktycznie, układy zamontowane do samochodu po tym dniu muszą mieć elementy ze świadectwem homologacji na zgodność z wymaganiami serii 01 poprawek.

- zawór ograniczający stopień napełnienia zbiornika do 80% jego pojemności wodnej,
- wskaźnik poziomu,
- nadciśnieniowy zawór bezpieczeństwa,
- termiczny zawór bezpieczeństwa,
- zdalnie sterowany zawór roboczy z zaworem ograniczającym wypływ,
- regulator ciśnienia i parownik, które mogą być zespolone w jedno urządzenie,
- zdalnie sterowany zawór odcinający,
- wlew paliwa,
- sztywne i giętkie przewody gazowe,
- mieszalnik gazu, wtryskiwacz lub inne urządzenie wtryskujące gaz,
- elektroniczną jednostkę sterującą.

W tabeli A.1 zestawiono elementy układu zasilania gazem, które podlegają badaniom homologacyjnym na zgodność z wymaganiami poszczególnych wersji Regulaminu 67 EKG ONZ. Zgodnie z wymaganiami tego Regulaminu, na każdym z wymienionych w tabeli A.1 elemencie muszą być w sposób czytelny i trwały umieszczone następujące dane:

- nazwa handlowa lub znak wytwórcy,
- typ,
- miesiąc i rok produkcji w przypadku elementów wykonanych z materiałów innych niż metalowe,
- numer świadectwa homologacji.

Oznaczenie świadectwa homologacji składa się z:

- okręgu otaczającego dużą literę E z następującym po niej numerem wyróżniają-
cym kraju, w którym udzielono homologacji na dany element (i tak na przykład 1
oznacza Niemcy, 3 – Włochy, 4 – Holandię, 20 – Polskę);
- numeru Regulaminu, następującej po nim litery „R", myślnika i numeru homolo-
gacji znajdujących się po prawej stronie wyżej opisanego okręgu: dwie pierwsz-
cyfry numeru homologacji wskazują na numer ostatniej serii poprawek do Regu-
laminu 67 EKG ONZ, następne cyfry oznaczają kolejny numer świadectwa ho-
mologacji udzielonej w danym kraju na zgodność z wymaganiami powyższeg-
Regulaminu;
- dla elementów, które uzyskały homologację na zgodność z wymaganiami serii 0
poprawek do Regulaminu 67 EKG ONZ, za znakiem homologacji umieszczan-
jest dodatkowo klasyfikacja tego elementu – składa się ona z wyrazu „CLASS
oraz z następujących cyfr lub cyfr i liter: „1", „2", „2A", „3".

Tak więc oznaczenie homologacji: E4 67R-001234

informuje nas, że świadectwo zostało wydane w Holandii, dany element speł-
wymagania wersji podstawowej Regulaminu 67 EKG ONZ, numer kolejny św-
dectwa to „1234".

Natomiast oznaczenie: E20 67R-010654 CLASS 3

informuje nas, że świadectwo zostało wydane w Polsce, dany element spełnia w-
magania serii 01 poprawek do Regulaminu 67 EKG ONZ, numer kolejny świad-
twa to „0654" i jest zaklasyfikowany do klasy 3.

Tabela A.1

Elementy układu zasilania pojazdu gazem propan-butan, podlegające badaniom homologacyjnym na zgodność z wymaganiami Regulaminu 67 EKG ONZ

Nazwa elementu	Regulamin 67 EKG ONZ	
	wersja podstawowa	seria 01 poprawek
zbiornik	TAK	TAK
osprzęt zbiornika	TAK	TAK
parownik	TAK	TAK
regulator ciśnienia	TAK	TAK
zawór odcinający	TAK	TAK
przewód elastyczny	TAK	TAK
wlew paliwa	TAK	TAK
pompa LPG	NIE	TAK
czujniki ciśnienia i temperatury	NIE	TAK
nadciśnieniowy zawór bezpieczeństwa przewodu gazowego	NIE	TAK
elektroniczna jednostka sterująca	NIE	TAK
zespoły filtra LPG	NIE	TAK
złącze robocze	NIE	TAK
urządzenie do wtrysku gazu (wtryskiwacz)	NIE	TAK

Zbiorniki

Na zbiornikach, które uzyskały homologację na zgodność z wymaganiami wersji podstawowej Regulaminu 67 EKG ONZ, powinny być umieszczone w sposób trwały i czytelny następujące dane:

- numer seryjny zbiornika,
- pojemność w dm^3,
- oznakowanie „LPG",
- ciśnienie robocze / ciśnienie próbne [bar],
- napis „maksymalny stopień napełnienia: 80%",
- rok i miesiąc legalizacji np. 98/03,
- znak homologacji.

W przypadku zbiorników, które uzyskały świadectwo homologacji na serię 01 poprawek do Regulaminu 67 EKG ONZ, powinny być na nich umieszczone następujące dane:

- numer seryjny zbiornika,

- pojemność w dm^3,
- oznakowanie „LPG",
- ciśnienie próbne [bar],
- napis „maksymalny stopień napełnienia: 80%",
- rok i miesiąc legalizacji np. 02/11,
- znak homologacji,
- oznakowanie „PUMP INSIDE" i oznakowanie identyfikujące pompę, jeżeli jest ona zamontowana w zbiorniku.

Na zbiornikach, które uzyskały homologację na zgodność z wymaganiami wersji podstawowej Regulaminu 67 EKG ONZ, oznaczenie homologacji będzie miało dodatkowo literę „A" lub „B" umieszczoną po cyfrach oznaczających serię poprawek. Te dodatkowe litery informują nas, że zbiornik jest klasy A lub B. W związku z tym oznaczenie homologacji będzie wyglądało następująco:

E20 67R-00A0243 dla zbiornika klasy A,

E20 67R-00B0243 dla zbiornika klasy B.

Tabela A.

Wymagania dotyczące warunków zabudowy instalacji gazowej w samochodzie, zawart w załączniku 7 do rozporządzenia MI Dz. U. Nr 32/2003, poz. 262

Paragraf	Wymaganie
§ 2.1	Pojazd zasilany gazem powinien być wyposażony w: – układ sygnalizacji przełączenia na zasilanie gazowe, – gaśnicę.
§ 2.2	Wyposażenie pojazdu w instalację nie może naruszać parametrów określonych przez producenta pojazdu: – dopuszczalnej masy całkowitej pojazdu, – dopuszczalnych nacisków na koła, – położenia środka masy pojazdu.
§ 2.3	Wyposażenie pojazdu w instalację nie powinno zakłócać pracy podstawowego zasilania, jeśli pozostało ono w pojeździe.
§ 2.4	Prześwit pojazdu po zamontowaniu układu nie może ulec zmniejszeniu w wy niku zabudowy instalacji. Żaden element instalacji gazowej nie może znajdować się niżej niż 20 cr od jezdni, chyba że jest chroniony dolną częścią pojazdu położoną poniż i znajduje się ona w odległości nie większej niż 15 cm mierzoną w poziomi
§ 2.5	Ujęcie powietrza do wentylacji i ogrzewania nie może znajdować się w k morze silnika.
§ 2.6	Wylot rury wydechowej nie może być skierowany w stronę jakiegokolwie elementu instalacji.
§ 3.1	Instalacja powinna być zaprojektowana na ciśnienie robocze zbiorników 2,4 MP
§ 3.2	Złącza instalacji, przez które przepływa gaz powinny znajdować się w miej cach łatwo dostępnych dla kontroli szczelności.

Paragraf	Wymaganie
§ 3.3	Instalacja powinna być przystosowana do pracy w temperaturach od -20°C do +40°C.
§ 3.4	Elementy i zespoły instalacji, w których panuje nadciśnienie gazu, powinny posiadać świadectwo homologacji lub atest stwierdzający ich dopuszczenie do stosowania oraz powinny być odpowiednio oznakowane.
§ 3.5	Przełączanie zasilania powinno być możliwe z pozycji kierującego pojazdem bez konieczności wyłączania silnika.
§ 3.6	W pojeździe z silnikiem o zapłonie samoczynnym instalacja powinna zagwarantować odcięcie wypływu gazu po osiągnięciu maksymalnej prędkości obrotowej silnika.
§ 3.8	W instalacji zasilania gazem płynnym wymagane jest stosowanie: – wskaźnika poziomu gazu, – zaworu odcinającego, umieszczonego możliwie najbliżej parownika od strony zasilania, – urządzeń uniemożliwiających przepływ gazu pomiędzy zbiornikami o zróżnicowanym ciśnieniu.
§ 3.9	Kompletację instalacji oraz sposób jej połączenia i umieszczenia w pojeździe określa zakład montujący na podstawie danych jej producenta.
§ 3.10	Instalacja powinna być zabezpieczona przed korozją.
§ 3.11	Budowa instalacji powinna umożliwiać przeprowadzanie badań okresowych.
§ 3.12	Elementy i zespoły instalacji narażone na mechaniczne uszkodzenia powinny być odpowiednio zabezpieczone.
§ 3.13	Elementy instalacji nie mogą wystawać poza obrys pojazdu (oprócz zaworu do tankowania). Zawór do tankowania nie może wystawać poza obrys pojazdu więcej niż 10 mm.
§ 3.14	Instalacja nie może utrudniać w sposób istotny dostępu do silnika i innych zespołów.
§ 3.15	Rozłączenie złącz gazowych nie powinno być możliwe bez użycia narzędzi – nie dotyczy to złącza butla-przewód.
§ 3.16	Elementy instalacji, w których znajduje się lub przez które przepływa gaz nie mogą bez pełnego osłonięcia być umieszczone w pomieszczeniu przeznaczonym do przewozu osób (nie dotyczy ścianek zbiornika).
§ 3.17	Niedopuszczalny jest wypływ gazu po zatrzymaniu się silnika.
§ 4.1	Zbiorniki powinny spełniać wymagania określone w warunkach technicznych dozoru technicznego.
§ 4.2	Zbiorniki (butle) powinny być tak zainstalowane w pojeździe, aby maksymalnie chronić przed skutkami zderzeń głównie od przodu i tyłu pojazdu. W przypadku samochodów ciężarowych – umieszczone w przestrzeni ładunkowej – powinny być zabezpieczone przed uszkodzeniem ładunkiem.
§ 4.3	Zbiorniki (butle) powinny być skutecznie osłonięte przed działaniem promieni słonecznych.
§ 4.4	Mocowanie zbiorników (butli) na pojeździe powinno zabezpieczać przed ich przemieszczeniem w kierunku wzdłużnym 20 g (g – przyspieszenie ziemskie), a w kierunku poprzecznym 8 g. Elementy mocowania przylegające do zbiorników powinny być elastyczne i nie absorbować wilgoci.
§ 4.5	Pomiędzy zbiornikami (butlami) na gaz a zbiornikiem na benzynę powinna być zachowana odległość nie mniejsza niż 5 cm, jeśli nie są one oddzielone od siebie metalową przegrodą.
§ 4.6	Zbiorniki powinny być wyposażone w: – zawory odcinające, – zawory napełniania, – zawory ograniczające wypływ gazu.
§ 4.7	Zbiorniki (butle) powinny być tak umieszczone w pojeździe, aby była możliwość łatwego: – dostępu do zaworów odcinających; – odczytu stanu napełnienia (nie dotyczy butli[7]); – odczytu danych dotyczących oznakowań identyfikacyjnych oraz cech legalizacji.
§ 4.8	Zbiorniki na gaz płynny powinny być tak umieszczone, aby w pozycji roboczej wypływ gazu następował w stanie ciekłym.
§ 4.9	Zabrania się instalowania zbiorników (butli) w części przedniej pojazdu oraz w komorze silnika.
§ 4.10	W pobliżu zbiorników (butli) nie powinny znajdować się sztywne elementy o ostrych krawędziach.
§ 4.11	Odległość zbiorników (butli) od układu wydechowego nie może być mniejsza niż 10 cm, jeśli nie jest zastosowana osłona termiczna.
§ 4.12	Nie dopuszcza się jakichkolwiek przeróbek zbiornika.
§ 5.1	Zawory do napełniania zbiorników powinny być tak umieszczone, aby było możliwe ich napełnienie z zewnątrz pojazdu lub z komory silnikowej.
§ 5.2	Zawory napełniania i zawory zbiorników (butli) gazu powinny mieć zewnętrzne sterowanie (nie powinny działać samoczynnie)
§ 5.3	Dopuszcza się stosowanie zespolonego zaworu do napełniania i odcinania [illegible] wypływu gazu.
§ 5.4	Zawory powinny być zabezpieczone przed dostępem do nich osób niepowołanych [illegible]

[7] Rozróżnienie między zbiornikiem a butlą dotyczy sposobu ograniczenia stopnia napełnie[illegible] W zbiorniku jest to ograniczenie objętościowe (zawór ograniczający napełnienie do 80% objętoś[illegible] natomiast w butlach – masowe.

Paragraf	Wymaganie
§ 6.1	Przewody metalowe zastosowane w instalacji powinny być bez szwu.
§ 6.2	Przewody powinny być tak ułożone, aby: a) mogły być łatwo kontrolowane, b) nie ocierały się o elementy pojazdu, c) odległość od układu wydechowego nie była mniejsza niż 10 cm, jeśli nie stosuje się ekranu termicznego, d) mocowanie wykluczało ich wibrację, przy czym odległość między podpórkami nie powinna przekraczać 70 cm.
§ 6.4	W przypadku braku możliwości spełnienia wymagań określonych w ust. 6.2 pkt. a), b) i d) dopuszcza się odstępstwo dla przewodu łączącego zbiornik z reduktorem, pod warunkiem dodatkowego zabezpieczenia go przed korozją i mechanicznymi uszkodzeniami oraz niezbędnej wentylacji przestrzeni, w której jest umieszczony.
§ 6.5	Przewody metalowe łączące elementy instalacji, które w czasie eksploatacji mogą podlegać wzajemnym przemieszczeniom, powinny być ukształtowane w pętle o promieniu krzywizny dostosowanym do średnicy przewodu.
§ 7.1	Reduktor nie może włączać się do pracy, gdy w króćcu wypływu gazu nie panuje podciśnienie (nie dotyczy układów rozruchowych).
§ 7.2	Na pracę reduktora nie może wywierać wpływu przyspieszanie bądź opóźnianie ruchu pojazdu[6].
§ 7.3	Odległość reduktora od układu wydechowego nie może być mniejsza niż 10 cm, jeśli nie jest stosowany ekran termiczny.
§ 8.1	Zbiorniki zamontowane w przestrzeni zamkniętej pojazdu powinny być umieszczone w szczelnej obudowie całkowitej lub być wyposażone w szczelną obudowę osłaniającą jedynie zawory, zbiorniki powinny być fabrycznie do takiego osłonięcia przystosowane.
§ 8.2	Obudowy całkowite powinny być wyposażone co najmniej w dwa otwory wentylacyjne, a obudowy osłaniające jedynie zawory zbiorników – w co najmniej jeden. Otwór wentylacyjny powinien mieć powierzchnię przekroju dla przepływu gazu nie mniejszą niż 4,5 cm². Wyloty otworów wentylacyjnych nie mogą znajdować się bliżej niż 25 cm od układu wydechowego, jeśli nie jest stosowany ekran osłaniający.
§ 8.3	Obudowy osłaniające zbiorniki, osłaniające zawory zbiorników oraz przewody układu przewietrzania obudów, powinny wykazywać szczelność przy nadciśnieniu 0,01 MPa. W trakcie próby wymienione elementy nie powinny wykazywać odkształceń.
§ 8.4	Zamykanie obudów powinno być tak skonstruowane, aby nie istniała możliwość przypadkowego ich otwarcia.
§ 8.5	Wielkość obudów na całe zbiorniki powinna być taka, aby odległość między ich ściankami a zbiornikami nie była mniejsza niż 2 cm.

[6] Ustawodawca miał na myśli przyspieszanie lub hamowanie samochodem. Wystarczającym rozwiązaniem jest zamontowanie reduktora równolegle do osi podłużnej pojazdu (patrz rozdział 3, fot. 3.16).

DODATEK B

Słowniczek

Nazwy elementów układów zasilania LPG nie są ujednolicone i ogólnie przyjęte. W części są to spolszczone wyrazy obcojęzyczne lub nazwy z żargonu, którym posługują się osoby związane z branżą. Autorzy pokusili się o napisanie skromnego „słownika branży gazowej", w którym starali się wyjaśnić niektóre popularnie używane, a niekoniecznie zrozumiałe nazewnictwo. Ma on na celu ułatwienie kontaktu potencjalnego użytkownika instalacji z osobą z branży.

attuator – patrz **silnik krokowy**

butla – zbiornik uniwersalny napełniany w rozlewni gazu; ograniczenie napełnienia przez określenie maksymalnej masy (nabitej na butli)

emulator – zespół elektroniczny umożliwiający prawidłowe działanie układu zasilania LPG, w samochodzie wyposażonym w elektronicznie sterowany układ wtrysku benzyny. Emulatory generują sygnały elektryczne, „oszukując" w ten sposób sterownik silnika, co umożliwia poprawną pracę instalacji elektrycznej samochodu podczas zasilania LPG. Emulatory mogą wywoływać pożądane działanie sterownika silnika bądź poprawę pracy silnika podczas zasilania LPG

gazowanie – przystosowywanie samochodu do zasilania paliwem LPG, inaczej montaż instalacji gazowej

grzybek – patrz **zawór odciążający**

gwizdek – patrz **zawór odciążający**

klapka antystrzałowa – patrz **zawór odciążający**

LPG – ang. *Liquified Petroleum Gas*. W tłumaczeniu norm jako poprawna językowo i merytorycznie przyjęta została nazwa „skroplony gaz ropopochodny", lecz jest mało prawdopodobne, aby nazwa ta przyjęła się. Potoczna nazwa propan-butan jest używana, lecz zbyt długa przy opisach układów zasilania LPG, w których należy ściśle określić zastosowanie urządzenia

mieszalnik – urządzenie stosowane w mieszalnikowych układach zasilania (I i II generacji), służące do wprowadzenia paliwa LPG do układu dolotowego silnika. Umieszczone jest w strefie, w której występuje podciśnienie, niezbędne dla właściwej pracy reduktora. Mieszalnik może wpływać na podciśnienie w układzie dolotowym silnika

oczko – określa średnicę wewnętrzną mieszalnika palnikowego. Jeżeli ktoś mówi, że „jest za duże oczko", to należy się spodziewać zmiany mieszalnika na mający mniejszą średnicę zwężki wewnętrznej. Więcej na ten temat w rozdziale 3 w części dotyczącej doboru mieszalnika

odbicie – zadziałanie zaworu ograniczającego napełnienie zbiornika paliwa gazowego, objawiające się efektami akustycznymi oraz spadkiem prędkości tankowania; jest to sygnał do zakończenia tankowania LPG

parownik – patrz **reduktor**

propan-butan – patrz **LPG**

reduktor (parownik) – obie nazwy używane są zamiennie. Zasadniczymi funkcjami tego urządzenia jest zmiana stanu skupienia LPG z ciekłego na gazowy przez rozprężenie go w ogrzewanej komorze oraz utrzymywanie założonego ciśnienia na wyjściu z urządzenia lub założonego natężenia przepływu w funkcji ciśnienia na wyjściu gazu z urządzenia. Jest to zatem parownik z reduktorem. Nazwa reduktor została wybrana z tego powodu, że funkcja reduktora jest kluczowa dla pracy układu zasilania LPG. Ponadto istnieją dokładnie tak samo wyglądające urządzenia w instalacjach metanowych, które trudno nazywać parownikami, ponieważ niczego nie odparowują, a nazwa przyjęta z układów zasilania LPG zapewne przyjmie się w czasie wchodzenia na rynek instalacji do zasilania silników gazem ziemnym (NG)

register – patrz **śruba**

silnik krokowy – silniki krokowe stosowane są do napędu urządzeń wykonawczych, służących do regulacji dawkowania paliwa w układach zasilania LPG II i III generacji. W przypadku mieszalnikowych układów zasilania II generacji jest to zespół złożony z zaworu zmieniającego opory przepływu oraz sterującego nim liniowego silnika krokowego. Zespół ten nazywany jest powszechnie attuatorem, aktuatorem lub silnikiem krokowym. Poprawna nazwa – zawór dławiący napędzany silnikiem krokowym

strzał – zapalenie się mieszanki palnej w układzie dolotowym, powodujące wzrost ciśnienia i efekty akustyczne przypominające strzał z broni palnej

śruba – zawór dławiący o stałych nastawach, montowany między reduktorem a mieszalnikiem w układach mieszalnikowych I generacji, służący do ręcznej regulacji składu mieszanki. Zwany również registrem. Samochód wyposażony w układ zasilania LPG I generacji określany jest jako „zrobiony na śrubę" lub „zrobiony na register"

wiatraki – samochody wyposażone w silniki chłodzone powietrzem; „gazowanie wiatraków" oznacza przystosowywanie samochodów wyposażonych w silniki chłodzone powietrzem do zasilania paliwem gazowym (LPG)

wwiertka – rodzaj **mieszalnika**. Wiercenie w gaźniku otworu w celu wprowadzenia przez niego paliwa LPG wprost do rozpylaczy gaźnika lub w jakiekolwiek inne miejsce na drodze przepływu powietrza przez gaźnik

zawór odciążający – nadciśnieniowy zawór upustowy stosowany do ochrony układów dolotowych przed skutkami „strzału". Różne rodzaje zaworów są nazywane grzybkami, gwizdkami lub klapkami antystrzałowymi

zbiornik paliwa gazowego (zbiornik LPG) – zbiornik przeznaczony do przechowywania paliwa LPG, przystosowany do tankowania z dystrybutora dzięki wyposażeniu go w armaturę opisaną w Regulaminie 67 EKG ONZ; zwany potocznie butlą

Literatura

[1] Jarzyński Grzegorz, „Prekursor zasilania silników gazem" – Jazda za grosze nr 2/98
[2] Zajda Ryszard, Tymiński Bogdan, „Instalacje i urządzenia gazowe", Wyd. Centrum Szkolenia Gazownictwa, Warszawa, 1999
[3] Fowler Alan Williams, Lowenstein Walter Lom, „Liquefied petroleum gases: A Guide to Properties, Applications and Usage of Propane and Butane", Ellis Horwood Limited, 1974
[4] Bąkowski Konrad, „Obliczanie wybranych parametrów technicznych gazów płynnych" – Rynek Gazowy, październik/grudzień 2000
[5] Bernhardt Maciej, Dobrzyński Stanisław, Loth Edward, „Silniki samochodowe", Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 1988
[6] ISO 6976:1995(E)
[7] Lee Daeyup, Shakal Joseph, Goto Shinichi, Ishikawa Hitoshi, Ueno Hiroki, Harayama Naoya, „Observation of Flame Propagation in an LPG Lean Burn SI Engine", SAE Technical Paper 1999-01-0570
[8] Materiały firmy Polgas
[9] Materiały firmy Landi Renzo Polska
[10] Merkisz J., Mazurek S., „Pokładowe systemy diagnostyczne pojazdów samochodowych", Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 2002
[11] Regulamin 67 EKG ONZ
[12] Dz. U. Nr 32/2003, poz. 262. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 31 grudnia 2002 r.
[13] Consorzio G. P. L. Autotrazione, „Fire Tests", Centro Stampa e Media, May 1998
[14] Folga Mirosław, Rafineria Trzebinia S.A., „Silnik gazowy a kwestia jakości smarowania" – Jazda za grosze nr 5/98
[15] Jakóbiec Janusz, Wysopal Grzegorz, Instytut Technologii Nafty, Kraków, „Silnik – paliwo – olej. Jakość paliwa gazowego LPG i oleju silnikowego a stan techniczny silnika" – Paliwa, oleje i smary w eksploatacji, nr 75
[16] Radzimirski Stanisław „Układy zasilania gaźnikowych silników samochodowych", Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 1974
[17] Materiały firmy Stako